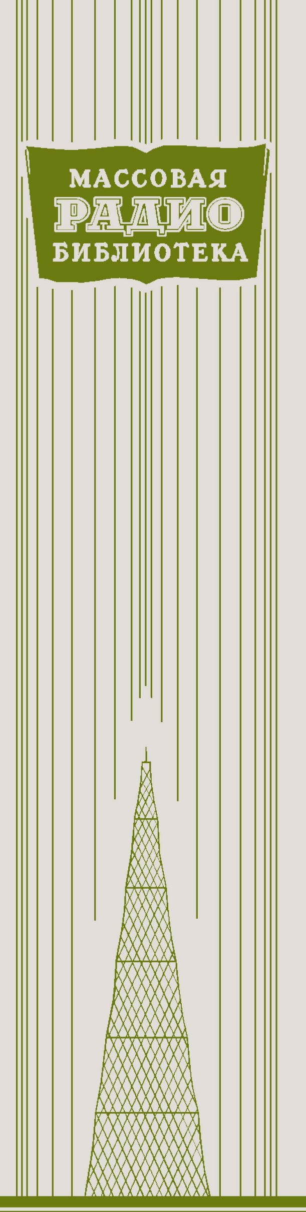
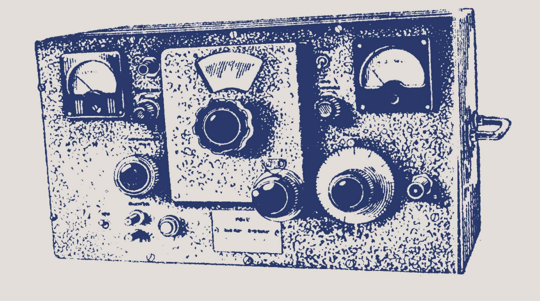



В. Н. ЛОГИНОВ

# РАДИОИЗМЕРЕНИЯ






ГОСЭНЕРГОИЗДАТ

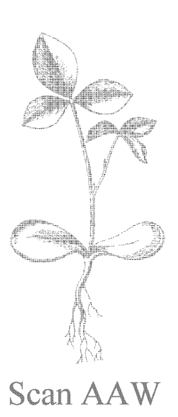
1954

МАССОВАЯ РАДИОБИБЛИОТЕКА

*Выпуск 208*

*В. Н. ЛОГИНОВ*

# РАДИОИЗМЕРЕНИЯ





ГОСУДАРСТВЕННОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО

МОСКВА 1954 ЛЕНИНГРАД

*Книга содержит краткое описание приборов и методов измерений, используемых при определении электрических параметров деталей и узлов радиоаппаратуры, и рассчитана на подготовленных радиолюбителей.*

Автор *Логинов Виктор Николаевич*

Редактор *С. С. Вайнштейн* Техн. редактор *К. П. Ворочин*

Сдано в набор 11/V 1954 г. Подписано к печати 15/X 1954 г.
Т-07732. Бумага 84 × 108 1/32 = 6,2 печ. л. Уч. изд. л. 7.
Тираж 25 000 экз. Цена 2 р. 80 к. Заказ 1218.

Типография Госэнергоиздата. Москва, Шлюзовая наб., 10.

## *ПРЕДИСЛОВИЕ*

Современный радиовещательный приемник, телевизор или любительская коротковолновая станция представляют собой настолько сложные устройства, что налаживание, регулировка или ремонт их без специальных измерительных приборов затруднены, а часто и просто невозможны. Радиоизмерительной аппаратурой теперь оснащены не только лаборатории радиоклубов, но и «домашние лаборатории» многих радиолюбителей.

Показательны в этом отношении ежегодные выставки радиолюбительского творчества, на которых отдел радиоизмерительной аппаратуры из года в год приобретает все больший удельный вес, иллюстрируя этим большое значение измерительных приборов в практике радиолюбительской работы.

С целью пополнить известный пробел, существующий в радиолюбительской литературе по вопросам измерений, и написана данная книга.

Автор не ставил перед собой задачи описания самодельных разработок и рекомендаций по изготовлению радиолюбителями различных типов измерительных приборов. Такой теме должны быть посвящены специальные книги.

Главной своей задачей автор считал ознакомление читателя-радиолюбителя средней квалификации с существующими многочисленными измерительными приборами и принятыми методами измерений наиболее существенных в радиолюбительской практике электрических величин.

Большинство наших радиоклубов располагает такими измерительными приборами, и радиолюбитель может их с успехом применить, если он ясно представит себе, что он будет измерять, какие методы измерения следует применять и какими приборами можно воспользоваться для этой цели. Описанию различных приборов посвящена гл. 2, а методам измерений — гл. 3—6 настоящей книги.

Замечания и пожелания по данной книге автор просит направлять по адресу: Москва, Шлюзовая набережная, 10, Госэнергоиздат, редакции Массовой радиобиблиотеки.

*Автор*

## ГЛАВА ПЕРВАЯ

# ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ИЗМЕРЕНИЯХ

Сущность всякого измерения сводится к сравнению измеряемой величины с какой-либо однородной с ней величиной, условно принятой за единицу. Взвешивая, например, предмет, мы сравниваем его с весом гирь, выражаем его вес в условных единицах, граммах, килограммах и т. д. Время мы выражаем в условно принятых единицах — секундах, минутах, часах, сутках и т. п.

Для электрических величин также установлены единицы измерений. К числу таких единиц, принятых в качестве стандартных, относятся, например, ампер (*а*) — единица тока, вольт (*в*) — единица напряжения или электродвижущей силы (э. д. с.), ом (*ом*) — единица сопротивления, фарада (*ф*) — единица электрической емкости, генри (*гн*) — единица индуктивности и взаимоиндуктивности, герц (*гц*) — единица частоты и др.

Электротехнические приборы, измеряющие напряжение, ток, сопротивление, мощность и т. д., различаются по системам, классу точности и назначению. В практике радиоизмерений чаще всего встречаются электроизмерительные приборы магнитоэлектрической, тепловой, термоэлектрической, детекторной и электронной систем.

Качество приборов в основном определяется точностью показаний и чувствительностью. Точность прибора характеризуется отклонением (погрешностью) его показаний от действительного значения измеряемой величины. Чем больше это отклонение, тем менее точен прибор. Класс точности прибора определяется наибольшей допустимой погрешностью, выраженной в процентах от предела показаний прибора.

Допустим, что предел измерений амперметра составляет 1,5 *а*, а разница между измеренной и истинной величинами

равна 0,03 *а*. Выражая погрешность показаний этого прибора в процентах от предельного значения, обозначенного на шкале, получаем:

$$\frac{0,03}{1,5}\cdot 100\% = 2\%.$$

Измерительные приборы разделяются на семь классов точности: 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 1,5; 2,5; 4,0. Эти цифры указывают допустимую погрешность в процентах от номинального значения шкалы. Следовательно, в нашем примере прибор по точности измерений может быть отнесен к классу 2,5.

Чувствительность измерительного прибора определяется отношением линейного или углового перемещения указателя (стрелки) к изменению значения измеряемой величины, которое вызывает это перемещение. Количественно чувствительность оценивается тем значением измеряемой величины, которое вызывает отклонение указателя прибора на одно деление шкалы, например 10 *мка* или 0,1 *в* на одно деление и т. д.

Прибор тем чувствительнее, чем меньшее значение тока, напряжения или другой измеряемой величины вызовет отклонение его стрелки на одно деление шкалы.

Точность и чувствительность — понятия различные; более точный прибор не обязательно должен быть и более чувствительным, как не обязательно и то, что более чувствительный прибор должен быть обязательно более точным.

При измерениях рекомендуется применять приборы наибольшей точности (чтобы получить более правильные результаты измерений) и такой чувствительности, которая не вызовет изменения режима измеряемой цепи, а тем самым и искажения результатов измерений.

По роду измеряемого тока приборы разделяются на приборы постоянного тока, переменного тока и приборы постоянного и переменного тока.

На шкалах обычных измерительных приборов, как правило, нанесены все необходимые данные, указывающие систему, род измеряемого тока, назначение и класс точности. Для контроля и регулировки радиоаппаратуры применяется большое количество измерительных и вспомогательных приборов. Эти приборы бывают разных типов в зависимости от назначения и класса точности. В табл. 1 дается распределение приборов по важнейшим группам их применений.

*Таблица 1*

| Назначение | Типы приборов |
|---|---|
| Измерение токов и напряжений | Стрелочные электроизмерительные приборы, ламповые вольтметры, измерители выхода |
| Измерение сопротивлений, емкостей, индуктивностей и добротности катушек | Омметры, мосты, фарадметры, куметры и др. |
| Генерирование токов высокой и низкой частоты | Генераторы стандартных сигналов, генераторы звуковой частоты, частотно-модулированные генераторы |
| Измерение частоты | Частотомеры, волномеры |
| Измерение глубины модуляции | Измерители модуляции, электронно-лучевые осциллографы |
| Исследование формы кривой тока и напряжения | Электронно-лучевые осциллографы, анализаторы гармоник |
| Измерение величины искажений | Измерители коэффициента искажений |
| Вспомогательное | Магазины и эталоны сопротивлений, емкостей и индуктивностей, стабилизаторы напряжения и др. |

Из перечисленных в табл. 1 приборов мы рассмотрим лишь наиболее употребительные в радиолюбительской практике.

# ГЛАВА ВТОРАЯ

# ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ АППАРАТУРА

## ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА И НАПРЯЖЕНИЯ

В радиолюбительской практике для измерения постоянного тока и напряжения в основном употребляются приборы магнитоэлектрической системы.

Наиболее чувствительные приборы, шкалы которых градуированы в произвольных единицах или градусах, называются гальванометрами. Они могут быть использованы для измерения тока и напряжения.

Прибор со шкалой, отградуированной в единицах тока или напряжения, уже не является гальванометром, а называется соответственно микроамперметром, миллиамперметром, амперметром, милливольтметром, вольтметром и т. д.

Для измерения тока гальванометр включается в цепь последовательно, а для измерения напряжения — параллельно тому участку, на котором производится измерение.

Расширение пределов измерения тока микроамперметром или амперметром достигается шунтированием прибора, т. е. включением параллельно ему некоторого дополнительного сопротивления — шунта.

Расчет шунта в соответствии с выбранным пределом измерения производится по формуле

$$R_{ш} = \frac{R_0 \cdot I_0}{I_{изм} - I_0},$$

где $I_{изм}$ — необходимый предел измерения прибора, *а*;
$R_0$ — внутреннее сопротивление прибора до переделки, *ом*;
$I_0$ — ток, соответствующий полному отклонению стрелки прибора до переделки, *а*.

Гальванометр, снабженный набором сменных шунтов, позволяет измерять различные токи, начиная от самых малых (измеряемых без шунта) до очень больших, превращаясь в многошкальный прибор.

Непременным условием для амперметров или миллиамперметров является их малое внутреннее сопротивление, во всяком случае не превышающее 1—2% от общего сопротивления измеряемой цепи, в которую он включен.

Как уже указывалось, гальванометром можно измерять и напряжения, если подключить его не последовательно в измеряемую цепь, а параллельно тому участку, на котором должно быть измерено падение напряжения. При этом предел измеряемого напряжения

$$U_0 = R_0 \cdot I_0.$$

Для расширения пределов измерения напряжения гальванометром необходимо последовательно с ним включить одно или несколько добавочных сопротивлений.

Величина добавочного сопротивления может быть подсчитана по формуле

$$R_{д} = \frac{U_{изм}}{I_0} - R_0,$$

где $U_{изм}$ — необходимый предел измерения, *в*;
$I_0$ — ток, соответствующий полному отклонению стрелки, *а*;
$R_0$ — сопротивление рамки гальванометра, *ом*.

Добавочные сопротивления для измерительных приборов должны быть весьма стабильными. Их следует делать проволочными и только в крайних случаях можно заменять их наиболее стабильными непроволочными сопротивлениями типа ВС. Выбор диаметра провода для добавочного сопротивления производится таким образом, чтобы при длительном включении вольтметра провод, из которого намотано сопротивление, не нагревался. Применяя непроволочные сопротивления, следует иметь в виду, что на добавочных сопротивлениях должно падать напряжение не более 200—250 *в*. В том случае, когда на добавочном сопротивлении ожидается падение напряжения более 250 *в*, следует вместо одного сопротивления включить цепочку из нескольких сопротивлений с таким расчетом, чтобы на каждом из них падение напряжения не превышало указанной величины.

Градуировка приборов постоянного тока в любительских условиях производится методом сравнения с эталонным прибором.

Для того чтобы вольтметр не влиял заметно на измеряемую цепь и давал правильные показания, необходимо, чтобы он имел в противоположность амперметру большое внутреннее сопротивление. Величина последнего должна быть не меньше 10—20-кратной величины сопротивления измеряемого участка.

Величина внутреннего сопротивления вольтметра легко определяется, если известна величина сопротивления прибора, приходящегося на 1 *в* напряжения. Она определяется как частное от деления 1 *в* на ток, соответствующий отклонению стрелки на всю шкалу. Так, в частности, если ток, необходимый для полного отклонения стрелки прибора, равен 0,005 *а*, то величина сопротивления, приходящаяся на 1 *в*, равна $\frac{1}{0,005} = 200$ *ом* на 1 *в*. Зная величину сопротивления, приходящегося на 1 *в*, внутреннее сопротивление прибора определяется как произведение этой величины на предел измерения шкалы, т. е. если сопротивление вольтметра на каждый вольт равно 200 *ом/в*, то при шкале вольтметра, рассчитанной для измерения 500 *в*, внутреннее сопротивление вольтметра будет равно $200 \cdot 500 = 100\,000$ *ом*.

Во избежание заметного влияния вольтметра на режим измеряемой цепи в радиотехнической практике не следует применять вольтметры с сопротивлением менее 1—2 *ком/в*.

Только для измерения напряжения источников тока, имеющих малое внутреннее сопротивление (аккумуляторов, батарей, мощных выпрямителей и т. п.), можно применять вольтметры с сопротивлением порядка 200—500 *ом/в*. В тех же случаях, когда потребление энергии совершенно недопустимо, для измерения напряжений используют электростатические или ламповые вольтметры.

## ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА И НАПРЯЖЕНИЯ

Для непосредственных измерений переменного тока и напряжения могут быть использованы электромагнитные и тепловые приборы.

Приборы электромагнитной системы применяются для измерений в цепях переменного тока с частотой не более 100—200 *гц*. Так как внутреннее сопротивление приборов этой системы невелико, то они используются главным образом для измерения напряжений в низкоомных цепях (например, для измерения напряжений сети, накала ламп и т. п.).

Тепловые приборы используются только для измерения тока низкой или высокой частоты. Влияние частоты на показания теплового прибора незначительно и обусловлено изменением активного сопротивления нагреваемой нити и емкостью токопроводящих деталей прибора. При соблюдении всех необходимых мер и введении поправок на поверхностный эффект тепловыми приборами можно измерять токи с частотой до 30 *мггц*.

Еще более распространенным типом приборов, применяемых для измерения высокочастотных токов (особенно малой величины), является термоэлектрический прибор, состоящий из термопреобразователя и гальванометра магнитоэлектрической системы. В качестве преобразователя тока в этих приборах применяется термоэлемент, состоящий из подогревателя и двух сваренных разнородных проволок (термопары), на концах которых при нагреве подогревателем за счет протекающего по нему тока возникает постоянная э. д. с., пропорциональная протекающему току.

Подогреватель изготовляется из тонкой проволоки или металлической ленты. Чем для меньшего тока предназначен термоэлемент, тем меньше должно быть и сечение подогревателя. Так, термоэлемент на максимальный ток 10 *ма* имеет подогреватель диаметром всего 0,01 *мм*.

Термоэлементы бывают с изолированным или неизолированным подогревателем. Конструкция с изолированным подогревателем имеет то преимущество, что термопара, будучи отделена от подогревателя слоем воздушной или твердой изоляции, не имеет непосредственного контакта с подогревателем. Это важно для измерений на высоких частотах, когда присоединение к измеряемой цепи дополнительной емкости (гальванометра с соединительными проводами) нежелательно.

Так как к. п. д. термоэлемента мал (порядка 0,5%), то термоэлектродвижущая сила термопары также относительно мала (обычно лишь 15—20 *мв*). Это заставляет применять совместно с термоэлементом низкоомные высокочувствительные гальванометры.

Для повышения к. п. д. термопреобразователь заключается в коробку из тепло- и электроизолирующего материала или в стеклянный сосуд, из которого удален воздух.

Влияние частоты на показания термоэлектрического прибора обусловлено явлением поверхностного эффекта, приводящего к возрастанию сопротивления подогревателя по мере увеличения частоты, и ответвлением измеряемого радиочастотного тока через паразитные емкости и особенно через цепь гальванометра. Для уменьшения влияния частоты необходимо термопреобразователь включать в такие участки радиочастотных цепей, потенциал которых относительно земли по возможности близок к нулю, а гальванометр блокировать при помощи дросселей и конденсаторов.

Шунтирования термопреобразователей для расширения пределов измерения производить не рекомендуется, так как наличие у шунта индуктивности приводит к большим частотным погрешностям. Поэтому нужно стараться применять такой прибор, который позволял бы производить измерения непосредственно, без шунта.

Погрешность термоэлектрических приборов лабораторного типа составляет 0,5%, а обычных — 1 ÷ 2% (от конечного значения шкалы).

Термоэлектрические приборы очень чувствительны к перегрузке по току; даже 10—15-процентная перегрузка может вывести термоэлемент из строя.

Градуировка термоприборов производится на переменном (50 *гц*) или постоянном токе. Во втором случае градуировка производится путем сравнения с образцовым прибором, причем для каждого значения тока производятся два отсчета: первый — при одной полярности батареи и

второй — при обратной полярности. Искомая величина определяется как среднее арифметическое значение обоих показаний. По полученным точкам строится градуировочная кривая прибора. Выполненная градуировка действительна только для данной термопары и данного гальванометра. При замене термопары или гальванометра следует осуществить и новую градуировку шкалы прибора.

Вольтметры термоэлектрической системы почти не применяются как из-за трудностей изготовления безиндукционных добавочных сопротивлений, так и вследствие того, что термоэлектрические вольтметры обладают небольшим внутренним сопротивлением.

При измерении напряжений переменного тока к вольтметру предъявляется еще одно требование, а именно, чтобы он обладал возможно меньшей величиной собственной емкости и емкости проводов относительно окружающих предметов, а также возможно меньшей индуктивностью подводящих проводов, так как иначе прибор будет обладать плохой частотной характеристикой, т. е. его показания будут зависеть от частоты. При работе на высокой частоте, особенно в ультракоротковолновом диапазоне, надо обращать особое внимание на длину соединительных проводов. При требовании, чтобы погрешность от влияния проводов не превосходила 1%, необходимо, чтобы длина их составляла не более 1% длины волны. Для того чтобы показать, насколько велика зависимость погрешности от длины проводов, достаточно сказать, что при длине проводов, составляющей 20% длины волны, ошибка в измерении достигает 50—70%.

В радиотехнической практике измерение напряжений переменного тока производится в основном электростатическими, детекторными и электронными приборами.

Не останавливаясь на устройстве приборов электростатической системы, отметим, что подключение электростатического вольтметра к какой-либо цепи эквивалентно подключению емкости (к тому же переменной, т. е. зависящей от угла поворота подвижных пластин), возможное влияние которой необходимо учитывать при измерениях.

Промышленностью выпускаются в настоящее время электростатические вольтметры типа С-95 с пределами от 75 *в* и выше.

К сожалению, электростатические вольтметры все еще пока редки. Более распространенными являются вольтметры детекторной и электронной систем.

В вольтметрах детекторной системы в качестве выпрямителя применяются либо купроксные и селеновые элементы (для низкочастотных вольтметров и измерителей выхода), либо кристаллические детекторы (для высокочастотных вольтметров).

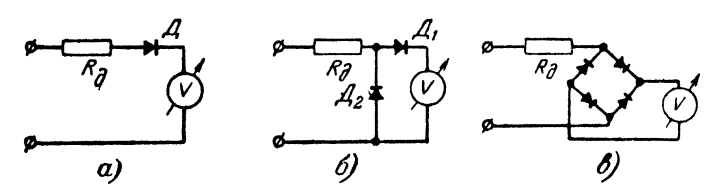
Выпрямляющее свойство купроксного (или селенового), а также кристаллического выпрямителей характеризуется коэффициентом выпрямления, который равен отношению величины тока в прямом (от закиси меди к меди) направлении к величине тока в обратном направлении или, что то же, отношению величины обратного сопротивления к прямому. Коэффициент выпрямления тем ниже, чем меньше приложенное напряжение, и может меняться от единиц (для напряжений порядка сотых долей вольта) до сотен (при напряжениях 1—2 *в*). По этой причине шкала вольтметра обычно бывает неравномерной: она сжата в начале и растянута в конце.

Наряду с положительными качествами (отсутствие дополнительного напряжения питания, малые габариты, низкая стоимость) твердые выпрямители имеют и ряд недостатков, одним из которых является резко выраженная зависимость их параметров от температуры. Изменение сопротивления выпрямителей в обоих направлениях с повышением температуры понижает коэффициент выпрямления (повышение температуры с 15 до 35° С для меднозакисного выпрямителя обычно соответствует уменьшению коэффициента выпрямления в 1,5 раза). Учесть этот недостаток можно путем применения поправочной кривой. Другим недостатком меднозакисных и селеновых выпрямителей является зависимость их свойств от частоты. Слой закиси меди отделен от медного электрода тонким непроводящим (запорным) слоем. Весьма малая толщина этого слоя служит причиной образования большой емкости между электродами (в среднем 0,02—0,03 *мкф/см*²). Шунтирующий эффект емкости такой величины весьма значителен. Поэтому выпрямляющий эффект с возрастанием частоты существенно падает. При малой площади выпрямляющей шайбы (диаметром 1,5—2 *мм*) купроксные выпрямители можно применять до частот не выше 100 *кгц* (для обычных измерительных шайб — до 10 *кгц*).

Германиевые и кремниевые точечные детекторы могут применяться для очень высоких частот.

Наиболее простая схема детекторного вольтметра приведена на фиг. 1,*а*. В этой схеме постоянная составляющая

выпрямленного тока замыкается через внешнюю (измеряемую) цепь. Поэтому показания прибора ставятся в зависимость от сопротивления этой цепи, что является крупным недостатком схемы. Кроме того, таким вольтметром можно пользоваться лишь для измерения напряжений от долей вольта до нескольких вольт, так как при более высоких напряжениях выпрямитель будет пробит. Не устранится опасность пробоя и в том случае, если в цепь последовательно включить добавочное сопротивление $R_д$, так как в полупериод, когда выпрямитель не будет пропускать ток, все напряжение окажется приложенным к запирающему слою. Для устранения этого недостатка рекомендуется прибор




Фиг. 1. Схемы детекторных вольтметров.

с выпрямителем шунтировать другим, «встречным» выпрямителем, как это показано на фиг. 1,*б*. Еще более совершенной схемой выпрямителя является мостовая схема (фиг. 1,*в*).

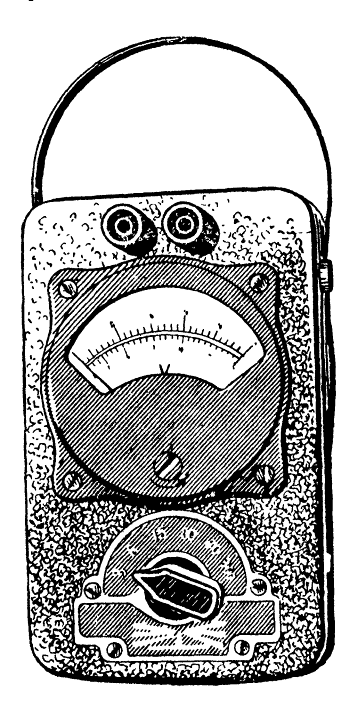
Сопротивление вольтметров с купроксным выпрямителем довольно высоко и доходит до 2 000 *ом/в*, т. е. значительно превосходит сопротивление иных систем вольтметров переменного тока, за исключением ламповых.

Из промышленных детекторных вольтметров наибольшее распространение имеют измеритель выхода ИВ-4 и более ранние модели ИВ-3 и ИВ-3М, предназначенные для измерения низкочастотного напряжения на выходе радиоприемников при испытании их с генератором стандартных сигналов. Принципиальная схема вольтметра ИВ-4 аналогична схеме фиг. 1,*в* и отличается от нее наличием нескольких добавочных сопротивлений для различных пределов измерения. Прибор ИВ-4 (фиг. 2) очень удобен (так как не требует батарей питания) и исключительно прост в обслуживании. С его помощью можно измерять напряжения звуковой частоты от 0,5 до 300 *в*.

Добавочные и шунтирующие сопротивления в измерителе выхода ИВ-4 подобраны так, что его входное сопротивление почти одинаково на всех шкалах и равно 20 000 ± 20% *ом*.

Погрешность прибора не превышает $\pm 5\%$ от номинального значения шкалы при синусоидальном напряжении 50 *гц* и температуре $+20°$ С. Дополнительная частотная погрешность при частоте 5 000 *гц* не превышает $\pm 5\%$. Температурная погрешность может быть учтена по прилагаемой к прибору кривой температурных поправок. Следует помнить, что измеритель выхода предназначен для измерения только переменных напряжений, поэтому если измеряемое напряжение содержит и постоянную составляющую, то включать прибор надо через конденсатор емкостью не менее 2 *мкф*.

Для измерения напряжения высокой частоты обычно используются ламповые вольтметры.



Фиг. 2. Измеритель выхода ИВ-4.

В простейшем случае ламповый вольтметр содержит электронную лампу, работающую в режиме детектирования, и индикатор — чувствительный миллиамперметр магнитоэлектрической системы. Измеряемое переменное напряжение подается на лампу, выпрямляется ею и преобразуется в импульсы постоянного тока, которые и подводятся к миллиамперметру. Последний, как правило, учитывает среднее значение выпрямленного тока.

Одной из особенностей лампового вольтметра является весьма большой диапазон рабочих частот (от самых низких звуковых до 100 *мггц* и выше), при которых сохраняется градуировка шкалы. Это обстоятельство позволяет производить градуировку ламповых вольтметров непосредственно на переменном токе с частотой 50 *гц*.

Ламповые вольтметры обладают достаточно большим входным сопротивлением (до 10 *мгом* и выше), которое зависит от потерь и емкости входной цепи. Чем меньше потери во входной цепи и меньше входная емкость, тем в большем диапазоне частот сохраняется высокое входное

сопротивление. Ламповые вольтметры имеют высокую чувствительность и могут измерять напряжения от тысячных долей вольта. Обычно же диапазон напряжений, измеряемых ламповыми вольтметрами, в зависимости от схемы бывает от 0,1 до 300 *в*.

Наиболее распространенный ламповый вольтметр типа ВКС-7А или ВКС-7Б (фиг. 3) пригоден для измерения напряжения в диапазоне частот от 30 *гц* до 100 *мггц* с эффек-

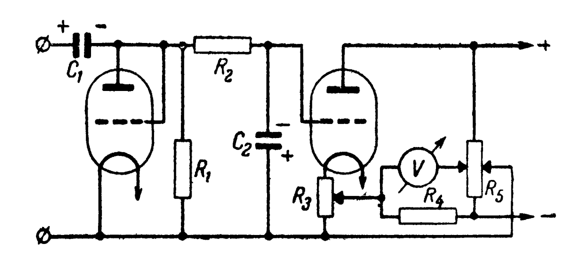


Фиг. 3. Ламповый вольтметр ВКС-7Б.

тивным значением от 0,1 до 150 *в*. Погрешность измерения напряжений этим вольтметром не превышает $\pm 3\%$. Входное сопротивление прибора на низких частотах составляет 5 *мгом*. На высоких частотах (50 *мггц*) оно уменьшается до 0,3 *мгом* при емкости 5—7 *пф*. Входная цепь прибора (фиг. 4) имеет разделительный конденсатор, что позволяет производить измерения переменного напряжения в цепях при наличии в них постоянной составляющей. Вольтметр способен выдерживать длительные перенапряжения до 300 *в* на любой шкале. Это делает прибор особенно удобным, так как устраняет необходимость соблюдать предосторожность при выборе шкалы.

Работа с прибором ВКС-7Б исключительно проста. Включив вилку кабеля питания в розетку переменного тока

от 100 до 240 *в* (прибор снабжен стабилизатором напряжения), а колодку в гнездо «110—220» на приборе, устанавливают выключатель сети в рабочее положение; при этом загорается сигнальная лампочка. Через 10—15 сек. стрелка гальванометра отклоняется на всю шкалу и возвращается обратно. Поставив переключатель «Шкала» в необходимое положение, ручкой «Установка нуля» стрелку гальванометра (при закороченных зажимах «В» и «З») устанавливают на нуль. После этого к зажимам «В» (высокий потенциал) и «З» (земля) подводится измеряемое напряжение.




Фиг. 4. Упрощенная схема ВКС-7Б.

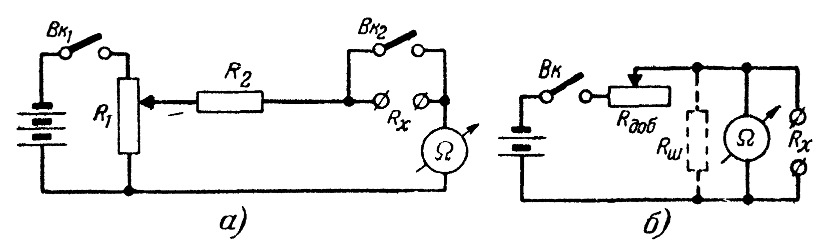
При измерении напряжений звуковой частоты рекомендуется присоединять параллельно зажимам «В» и «З» конденсатор 100—200 *пф*. При измерении напряжений на частотах свыше 10 *мггц* следует пользоваться специальным кабелем с пробником (находится в верхней части прибора).

Для расширения пределов измерения вольтметру придаются емкостные делители напряжений ДН-2-Н (до 3 000 *в* для частот до 10 *кгц*), ДН-2-В (до 3 000 *в* для частот от 10 *кгц* до 20 *мггц*) и ДНЕ-1 или ДНЕ-2 (до 10 000 *в*). Коэффициент деления напряжения всех перечисленных делителей равен 200.

## ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ СОПРОТИВЛЕНИЙ

Диапазон величин электрических сопротивлений, применяемых в современной радиоаппаратуре, весьма велик и простирается от единиц ома до сотен и тысяч мегом. Измерять сопротивления во всем этом широком диапазоне, пользуясь для этого только одним каким-либо методом или прибором, невозможно. Поэтому применяются различные удовлетворяющие требованиям отдельных частных случаев способы.

Наиболее практичным способом измерения сопротивлений является метод омметра. Из схем на фиг. 5 ясно, что при неизменном напряжении $U$ отклонение стрелки прибора будет зависеть только от величины измеряемого сопротивления, что позволяет проградуировать шкалу стрелочного




Фиг. 5. Схемы омметров.

*а* — последовательного включения; *б* — параллельного включения.

прибора непосредственно в единицах сопротивления (омах или килоомах).

Очень часто для измерений сопротивлений пользуются схемами и приборами, основанными на принципе уравновешенного моста (фиг. 6). Мост состоит из известных сопротивлений $R_1$, $R_2$, $R_3$ и измеряемого сопротивления $R_x$.

Путем изменения соотношений сопротивлений плеч $R_1$ и $R_2$ добиваются равновесия моста, определяемого по наименьшему показанию гальванометра, включенного в диагональ моста. Измеряемое сопротивление

$$R_x = \frac{R_2 \cdot R_3}{R_1}.$$

Фиг. 6. Схема моста для измерения сопротивлений.

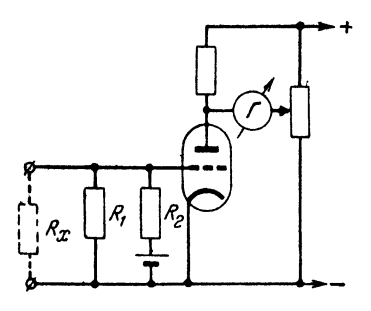
Некоторые трудности возникают при измерениях на мосте очень малых или очень больших величин сопротивлений. При измерении низкоомных сопротивлений возникают ошибки из-за наличия неопределенных сопротивлений соединительных проводов и контактов. В этом случае следует брать короткие проводники большого сечения и следить за надежностью соединения их с прибором и измеряемым сопротивлением. При измерении очень больших сопротивлений определение равновесия моста при помощи гальванометра становится затруднительным. Это неудобство можно обойти, питая мост относительно большим напря-

жением постоянного тока и используя вместо гальванометра ламповый вольтметр постоянного тока.

Мы не приводим здесь описаний мостов, служащих только для измерения сопротивлений, так как в настоящее время существует очень много типов мостов (МТ-5, МД-6, МВЛ-47, МТВ и др.), а кроме того, работа на них настолько проста, что не требует каких-либо особых указаний.

Относительная погрешность мостов и омметров определяется как отношение абсолютной погрешности измеренной величины к действительной ее величине. Например, погрешность градуировки омметра, показывающего 68 *ом* вместо действительных 70 *ом*, будет равна $\frac{70-68}{70}\cdot 100 = 3\%$.

Для измерения сопротивлений большой величины (сопротивлений утечек конденсаторов, изоляции) применяются индукторные и ламповые мегомметры. Схемы индукторных мегомметров отличаются от обычных омметров в основном лишь наличием индуктора (источника тока), развивающего напряжение до 500—1 000 *в*.



Фиг. 7 Схема измерения сопротивлений электронным мегомметром.

В ламповых мегомметрах источниками тока служат выпрямители.

На фиг. 7 показаны принцип измерения сопротивлений больших величин ламповым мегомметром, а на фиг. 8 — внешний вид наиболее распространенного лампового мегомметра типа МОМ-1.

С помощью мегомметра МОМ-1 можно измерять сопротивления от 20 *ом* до 1 000 *мгом*. Погрешность измерений в зависимости от участка шкалы не превышает 5—10%.

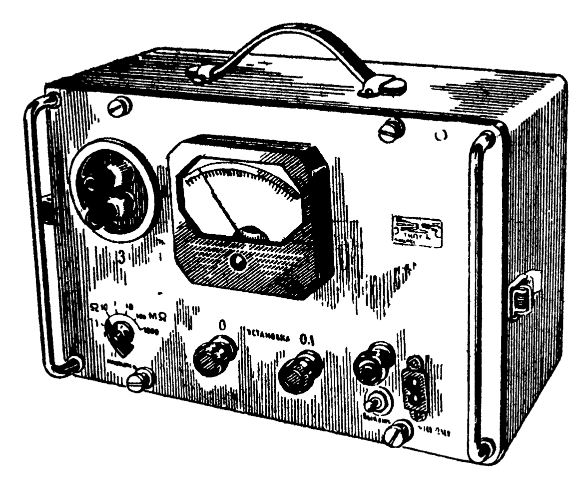
Работа мегомметра типа МОМ-1 основана на принципе измерения падения напряжения на калиброванных сопротивлениях $R_1$ и $R_2$, к которым подключается измеряемое сопротивление, при питании всех сопротивлений от источника постоянного тока с неизменным напряжением.

Измерение падения напряжения на калиброванном сопротивлении $R_1$ и неизвестном сопротивлении $R_x$ осуществляется с помощью лампового вольтметра, индикатор (гальванометр) которого включен по мостовой схеме и градуирован в единицах сопротивления.

Измерения на мегомметре МОМ-1 производятся следующим образом.

Переключатель «Множитель» ставится в любое из положений $M\Omega$, после чего прибор включается и прогревается в течение 10—15 мин.

При измерении сопротивлений на поддиапазонах 100 ÷ 1 000 и 1 000 ÷ 100 000 *ом* переключатель „Множитель" переводится в положение $\Omega \cdot 1$ и $\Omega \cdot 10$, стрелка измерителя с помощью ручки „Установка 0" ставится сначала на крайнюю левую риску шкалы (при положении пере-



Фиг. 8. Мегомметр МОМ-1.

ключателя „Множитель" на $M\Omega \cdot 1$), а затем на крайнюю правую риску с помощью ручки „Установка 0,1" (при нужном для работы положении переключателя „Множитель").

При измерении на поддиапазонах 0,1 ÷ 1,0, 10 ÷ 100 и 100 ÷ 1 000 *мгом* (переключатель „Множитель" находится соответственно в положениях $M\Omega \cdot 1$, $M\Omega \cdot 10$, $M\Omega \cdot 100$ и $M\Omega \cdot 1\,000$) стрелка измерителя с помощью ручки „Установка 0" сначала устанавливается на крайнюю левую риску шкалы (при нужном для работы положении переключателя „Множитель"), а затем с помощью ручки „Установка 0,1" — на крайнюю правую риску (при положении $M\Omega \cdot 10$) переключателя „Множитель".

Для более точной калибровки указанные операции установки стрелки на крайние риски шкал следует по-

вторить 2—3 раза. При этом всегда необходимо следить за тем, чтобы панель прибора была чистой и сухой, так как иначе возможна утечка между измерительными зажимами. Практически можно считать работу допустимой, если уход стрелки измерителя с левой крайней риски вправо при переходе с поддиапазона $M\Omega \cdot 100$ на поддиапазон $M\Omega \cdot 1\,000$ составляет не более 2 *мм*.

— После этого переключатель „Множитель“ устанавливается на наиболее подходящий поддиапазон, и к зажимам $R_x$ подключается измеряемое сопротивление. Величина сопротивления отсчитывается по соответствующей шкале и умножается на величину, указываемую переключателем „Множитель“.

При измерении сопротивления изоляции конденсаторов большой емкости переключатель шкалы следует сначала поставить в положение $M\Omega \cdot 1$, чтобы уменьшить время заряда проверяемого конденсатора.

При ремонте и налаживании радиоаппаратуры измерение напряжения, тока и сопротивления различными приборами представляется неудобным. В этих случаях используются комбинированные приборы — ампервольтомметры (авометры).

Из промышленных авометров наибольшее распространение получил прибор типа ТТ-1. Этим прибором можно производить измерения тока от нескольких микроампер до 500 *ма*, напряжений от 0,1 до 1 000 *в* (постоянного и переменного тока) и сопротивлений от 1 *ом* до 2 *мгом*. Внутреннее сопротивление его при измерениях напряжений постоянного тока на всех шкалах равно 5 000 *ом/в*.

Точность у многошкальных приборов ниже, чем у одношкальных, так как градуировка многошкальных приборов оказывается весьма сложной. Вследствие этого комбинированные приборы по точности измерений относятся в большинстве своем к классу 1,5 или 2,5.

## ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ИНДУКТИВНОСТЕЙ И ЕМКОСТЕЙ

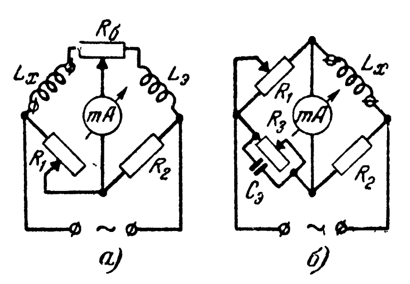
Наиболее распространенными приборами для измерения индуктивностей являются приборы, работающие на принципе уравновешенного моста.

Измерение индуктивностей с помощью мостовых схем подобно измерению сопротивлений. Оно может быть

выполнено различными путями — с применением эталонной индуктивности (фиг. 9,*а*) или эталонной емкости (фиг. 9,*б*).

В схеме с эталонной индуктивностью два плеча моста составлены из известных безиндукционных сопротивлений $R_1$ и $R_2$. В третье плечо включается эталонная индуктивность $L_э$. Четвертое плечо образуется измеряемой индуктивностью $L_x$. Сопротивление $R_б$ включено для получения точного уравновешивания моста.

Питание моста производится переменным током с частотой 800 — 1 500 *гц*. В качестве индикатора равновесия моста служит обычно миллиамперметр переменного тока или головной телефон. Момент равновесия отмечается по отсутствию тока в измерительном приборе или по минимуму звука в телефоне.




Фиг. 9. Схемы мостов для измерения индуктивностей.

Измеряемая индуктивность

$$L_x = L_э \cdot \frac{R_1}{R_2}.$$

В схеме с эталонной емкостью последняя берется постоянной, а сопротивления плеч $R_1$ и $R_3$ — переменными. Уравновешивание моста производится изменением величин сопротивлений $R_1$ и $R_3$. Индуктивность измеряемой катушки

$$L_x = C_э \cdot R_1 \cdot R_2.$$

С помощью мостовых схем можно измерять индуктивности от 10 *мкгн* до 100 *гн*.

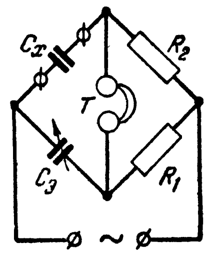
Для измерения емкостей существует также большое число мостовых схем. Наиболее простая из них приведена на фиг. 10. Два плеча моста образуются сопротивлениями $R_1$ и $R_2$, а остальные — градуированной переменной емкостью $C_э$ и измеряемой емкостью $C_x$. В диагональ моста включен индикатор, в качестве которого может быть применен чувствительный стрелочный прибор переменного тока, телефон или оптический индикатор.

Уравновешивание моста осуществляется изменением величины эталонной емкости $C_э$ и определяется по отсутствию тока в индикаторе или минимуму звука в

телефоне. Величина измеряемой емкости подсчитывается по формуле

$$C_x = C_э \cdot \frac{R_1}{R_2}.$$

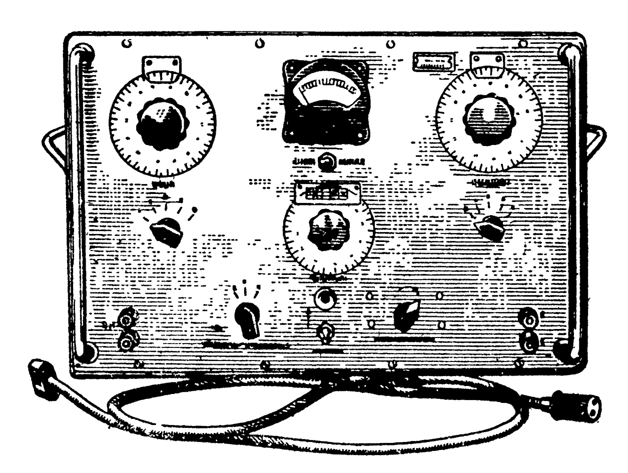
Изменяя величину отношения сопротивлений $R_1$ и $R_2$, можно изменять пределы измерения моста. Этот способ дает возможность измерять емкости в пределах примерно от десятков пикофарад до микрофарад.



Фиг. 10. Схема моста для измерения емкости.

Наиболее распространенным промышленным типом моста является УМ-2 (фиг. 11). Этот универсальный прибор служит для измерения индуктивностей, емкостей и сопротивлений. Измерения емкостей и индуктивностей на этом мосте производятся на переменном токе с частотой 1 000 *гц*, а сопротивлений — на постоянном токе.

По схеме УМ-2 представляет собой соединение мостов переменного тока для измерения *L* и *C* и постоянного тока для измерений *R*, а также генератора звуковой частоты


Фиг. 11. Мост УМ-2.

(1 000 *гц*), усилителя низкой частоты и детектора. Усилитель низкой частоты предназначен для увеличения чувствительности гальванометра постоянного тока, который

включен в анодную цепь детекторной лампы и используется в качестве индикатора при уравновешивании моста.

Мост УМ-2 позволяет производить ряд измерений. Их перечень приведен в табл. 2.

*Таблица 2*

| Измеряемая величина | Возможный диапазон измерений | Точность измерений |
|---|---|---|
| Сопротивление $R$ . . . . . . . . . | 0,1 *ом* ÷ 1 *мгом* | 1 ÷ 5% |
| Емкость $C$ . . . . . . . . . . . . . . | 10 *пф* ÷ 100 *мкф* | 1 ÷ 3% |
| Индуктивность $L$ . . . . . . . . . | 10 *мкгн* ÷ 100 *гн* | 1 ÷ 5% |
| Добротность $Q$ . . . . . . . . . . | 0,5 ÷ 100 | — |
| Угол потерь $\delta$ . . . . . . . . . | 0,005 ÷ 1° | ± 10% |

Работа с прибором УМ-2 требует определенного навыка и внимания. Для измерения следует переключатель шунта прибора «Грубо-точно» поставить в положение «Грубо». Регулятор чувствительности устанавливается в крайнее левое положение. После этого прибор включается и прогревается в течение 5—10 мин.

При измерении индуктивностей переключатель $L$-$C$-$R$ ставится в соответствующее положение. Ручки «Фаза» и «Отсчет» ставятся приблизительно на 20, переключатели «Отсчет» и «Фаза» — в нулевые положения, а переключатель «Умножить» — в положение, при котором наблюдается спадание показаний индикатора.

Поворачивая одновременно ручки «Отсчет» и «Фаза», необходимо добиться минимального отклонения стрелки индикатора, увеличивая при этом постепенно чувствительность до тех пор, пока при некотором положении ручек на индикаторе не получится острый минимум показаний.

Если при поворотах ручек «Отсчет» или «Фаза» в сторону увеличения отсчетов наблюдается постепенное спадание показаний гальванометра, но минимума при этом не обнаруживается, то переключатель «Отсчет» или «Фаза» нужно поставить на 20, 40, 60, 80 и при этих положениях снова искать минимум поворотами ручек «Отсчет» и «Фаза».

Если отклонения индикатора при установке ручки регулировки чувствительности на максимум малы, то для увеличения точности измерения переключатель чувствительности «Грубо-точно» следует поставить в положение «Точно» и снова продолжать искать минимум показаний,

Измеренная индуктивность находится умножением суммы показаний шкал лимба и переключателя «Отсчет» на цену деления, установленную переключателем «Умножить».

Для повышения точности измерений и удобства нахождения минимума переключатель «Умножить» надо поставить в такое положение, чтобы по лимбу можно было брать отсчеты больше десяти.

При измерениях индуктивностей катушек, обладающих на частоте 1 000 *гц* большими величинами $Q$, могут быть случаи, когда нельзя достигнуть полной уравновешенности моста из-за невозможности получения равновесия фаз. В этих случаях следует при измерениях индуктивностей больше 1 *гн* измеряемую индуктивность шунтировать достаточно большим сопротивлением (0,2—2 *мгом*), которое обеспечивало бы получение настройки по ручке «Фаза», не влияя при этом заметно на отсчет.

Методика измерения емкостей аналогична описанной выше методике измерения индуктивностей; при этом переключатель вида измерений ставится в положение $C$.

При измерении сопротивлений переключатель ставится в положение $R$ и измеряемое сопротивление подключается к зажимам $R$ и $З$ (зажим $З$ соединен с корпусом прибора). Ручку «Отсчет» ставят приблизительно на 20.

Затем, поворачивая ручку переключателя «Умножить» слева направо, находят такое положение, когда стрелка гальванометра пересечет нулевое положение. Если стрелка будет оставаться все время по одну сторону от нуля, то нужно вращать ручку переключателя, находящегося под ручкой «Отсчет», пока не произойдет пересечения нулевого положения. Поворачивая ручку «Отсчет» и постепенно увеличивая при этом чувствительность индикатора, надо определить точку равновесия моста (нулевого отклонения гальванометра).

Величина сопротивления находится умножением суммы показаний шкал переключателя и ручки «Отсчет» на цену деления шкалы, установленную переключателем «Умножить». Во избежание повреждений гальванометра переключение и отключение измеряемых сопротивлений, а также перевод переключателей в другое положение следует производить только при минимальной чувствительности индикатора.

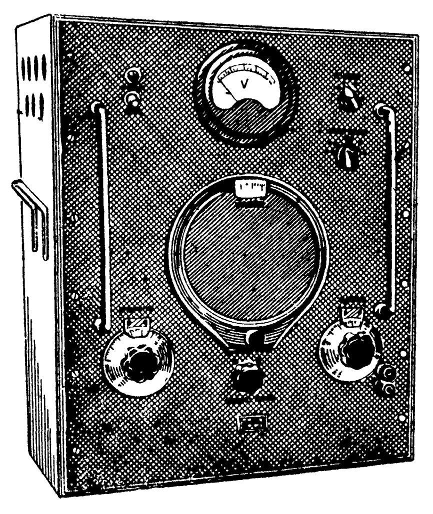
Для уменьшения погрешностей и внешних помех прибор рекомендуется заземлять посредством зажима $З$.

## ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ГЕНЕРАТОРЫ ПЕРЕМЕННЫХ ТОКОВ

Для определения основных характеристик радиотехнических устройств необходимы измерительные генераторы звуковых и высоких частот.

Наиболее распространенными генераторами звуковой частоты в настоящее время являются генераторы типов ГЗ-1 и ЗГ-2А.

Генераторы звуковой частоты ЗГ-2А используются для испытания и снятия амплитудных и частотных характеристик низкочастотных каскадов радиоприемников и модулятора радиопередатчика, для определения стабильности частоты высокочастотных генераторов и передатчиков.



Фиг. 12. Звуковой генератор ЗГ-2А.

Работа генератора ЗГ-2А (фиг. 12) основана на принципе биений, т. е. получения звуковой частоты в результате сложения двух высокочастотных колебаний, создаваемых двумя отдельными генераторами (одного с фиксированной, а другого с плавной настройкой частоты), и обеспечивает получение частот от 20 до 20 000 *гц*. Этот диапазон перекрывается конденсатором переменной емкости, имеющим шкалу, градуированную по частоте. Генератор содержит добавочный конденсатор, допускающий плавное изменение частоты в пределах ±100 *гц* в любой точке диапазона.

Выходная мощность генератора при нормальной нагрузке (50—500—5 000 *ом*) равна 2 *вт*. Коэффициент нелинейных искажений при указанных нагрузках и снимаемой мощности до 1,5 *вт* на частотах от 100 до 5 000 *гц* не превышает 2%. Прибор имеет низкоомный выход, изменяющийся в зависимости от положения переключателя выхода от 45 *ом* (в положении 6 000 *мв*) до 5 *ом* (в положении 200 *мв* и менее).

На передней панели генератора расположены ручки установки основной частоты, добавочного конденсатора (по-

средством которого производится малое изменение частоты), конденсатора установки нуля и потенциометра плавной регулировки выходного напряжения, вольтметр выхода, переключатель выхода, зажимы выхода и выключатель питания с индикаторной лампочкой.

Для подготовки прибора к работе нужно подключить к прибору питание и включить его, после чего прибор прогревается в течение 3—5 мин.

Ручки основной частоты и частоты расстройки ставят на нуль, а ручкой «Установка нуля» добиваются положения, когда стрелка прибора, пройдя через ряд колебаний (сначала быстрых, а затем медленных), станет неподвижно на нуль. После этого лимбом основной частоты устанавливают нужную частоту и с помощью ручек регулировки выхода и переключателя выхода устанавливают нужное выходное напряжение.

Поворотом ручки плавной регулировки амплитуды нельзя получить нуль напряжения на выходе. На выходных зажимах будет остаточное напряжение, составляющее около 15% максимального выходного напряжения. Чтобы получить нуль напряжения, нужно переключатель выхода установить на нуль. При этом выходные зажимы прибора будут закорочены.

Пределы измерений вольтметра соответствуют установке переключателя выхода.

При работе с аттенюаторным выходом (при положении переключателя выхода в позиции *mV*) отсчет напряжений производится по соответствующим шкалам вольтметра. Предел измерения вольтметра соответствует гравировке переключателя аттенюатора (например, при гравировке 200 отклонение стрелки вольтметра на всю шкалу будет соответствовать 200 *мв* и т. д.).

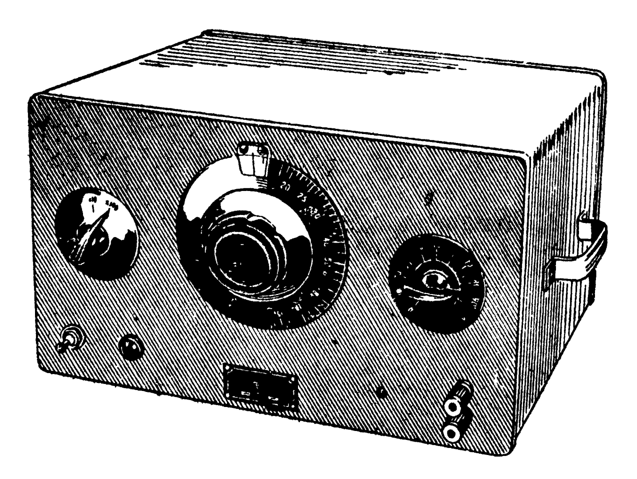
Звуковой генератор типа ГЗ-1 (фиг. 13) представляет собой по схеме *RC*-генератор. В отличие от генератора ЗГ-2А он не имеет измерителя выходного напряжения, что, конечно, ограничивает его возможности.

Диапазон частот этого прибора от 18 до 18 000 *гц* разделен на три поддиапазона: 18 ÷ 180, 180 ÷ 1 800 и 1 800 ÷ 18 000 *гц*. Отсчет частоты во втором и третьем поддиапазонах производится умножением показания шкалы соответственно на 10 и 100.

Регулировка выходного напряжения производится плавно с помощью потенциометра.

Выходная мощность, выделяемая на нагрузке 600 *ом* при коэффициенте нелинейных искажений 2%, равна 1 *вт*. Неравномерность частотной характеристики составляет ±1 *дб*. Стабильность частоты равна ±2%. Погрешность градуировки частоты — порядка 5%.

Высокочастотные генераторы стандартных сигналов применяются главным образом для налаживания и исследования радиоприемников, контуров, высокочастотных усилителей и т. д.



Фиг. 13. Звуковой генератор ГЗ-1.

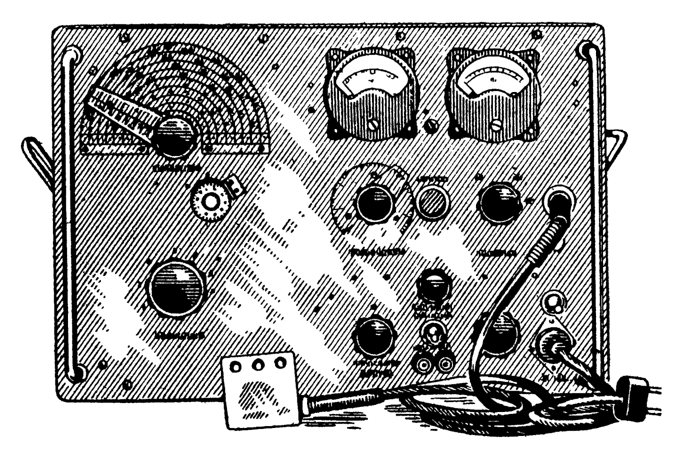
Наиболее распространенными в настоящее время генераторами стандартных сигналов являются ГСС-6 и СГ-1. Первый предназначается для снятия характеристик приемников в диапазоне 100 *кгц* ÷ 25 *мггц*, а второй — 13 ÷ 330 *мггц*.

С помощью этих генераторов можно определять чувствительность, перекрытие диапазона и селективность радиоприемника, а при внешней модуляции от звукового генератора (например, типа ЗГ-2А) исследовать и качество воспроизведения всего тракта приемника.

Точность градуировки генератора ГСС-6 (фиг. 14) по частоте — порядка ±1%. Выходное напряжение на конце его кабеля, нагруженного делителем, может регулироваться от 0,1 *мкв* до 1 *в*. Амплитудная модуляция от внутреннего генератора с частотой 400 *гц* возможна в пределах от 0 до 100%. Генератор ГСС-6 допускает модуляцию и от внешнего звукового генератора с частотой от 50 до 8 000 *гц*.

Перед включением прибора в электросеть ручки «Установка несущей» и «Установка $M\%$» нужно повернуть до отказа влево, ручку «Микровольты» поставить на минимум, а ручку «Множитель» — на 1. После такой предварительной подготовки можно произвести включение прибора.

В гнездо 0—0,1 вставляют вилку с кабелем, имеющим на другом конце делительную колодку. Переключатель «Диапазон» устанавливают в промежуточное положение между двумя цифрами (при этом генерация сорвется) и



Фиг. 14. Генератор стандартных сигналов ГСС-6.

ручкой «Установка нуля несущей» стрелка левого гальванометра устанавливается на нуль. Установка на нуль стрелки правого гальванометра производится с помощью механического корректора. После этого переключателем диапазонов и ручкой «Настройка» устанавливается необходимая частота.

Вращением ручки «Установка несущей» следует установить стрелку левого гальванометра на 1. Пользуясь ручками «Микровольты» и «Множитель» и используя тот или иной зажим на делительной колодке кабеля, надо установить необходимую величину выходного напряжения (в пределах 0,1 *мкв* — 0,1 *в*). При этом нужно следить, чтобы стрелка левого гальванометра была на 1 (положение ее в случае необходимости регулируется ручкой «Установка несущей»).

Определение величины выходного напряжения в микровольтах производится путем умножения показаний ручки

«Микровольты» на цифру ручки «Множитель» и цифру используемого зажима делительной колодки. Например, если показание ручки «Микровольты»—5, ручки «Множитель»—10 и цифра зажима колодки — 0,1, то выходное напряжение равно 5 · 10 · 0,1 = 5 *мкв*.

Если входное сопротивление исследуемого прибора невелико, то нужно учитывать выходное сопротивление колодки, так как оно в зависимости от выбранной позиции может изменяться от 0,8 *ом* (при 0,1) до 40 *ом* (при 10). Наиболее удобна для работы с радиовещательными приемниками позиция 1,0, так как она дает малые частотные ошибки и при этом выходным сопротивлением колодки (8 *ом*) можно пренебречь.

Для получения напряжения свыше 0,1 *в* прибор ГСС-6 имеет второе выходное гнездо 0—1 *в*, к которому напряжение подводится прямо с потенциометра «Микровольты». При установке стрелки левого гальванометра на 1 при полном повороте ручки «Микровольты», т. е. в положении 10, напряжение равно 1 *в*.

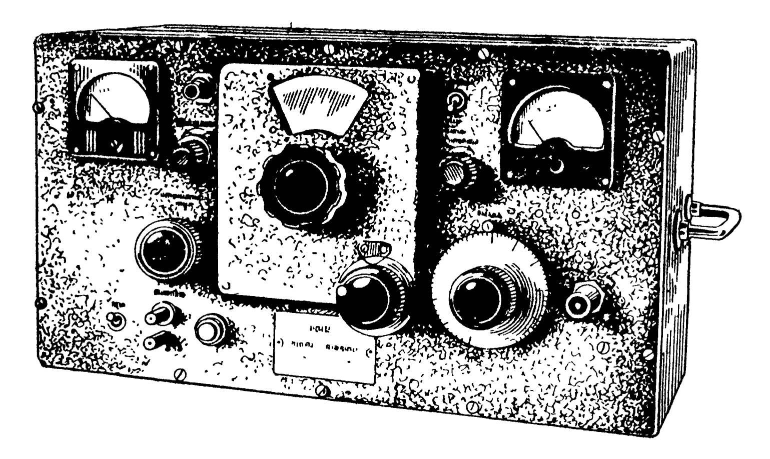
Выходное напряжение с гнезда «0—1» выводится через вторую вилку с кабелем (прилагается к прибору), не имеющим на конце делительной колодки. Нужно иметь в виду, что в этом случае калибровка выходного напряжения произведена на контактах гнезда, а не на конце кабеля.

При использовании внутреннего модулятора необходимо сначала повернуть ручку «Установка *М*%» до отказа влево, а затем поставить переключатель рода модуляции в положение «Внутр. мод». Стрелку левого гальванометра ставят на 1 и ручкой «Установка *М*%» по показанию правого гальванометра устанавливают требуемый процент глубины модуляции.

Если модуляция производится от внешнего генератора (например, для определения кривой верности приемника), то напряжение от этого генератора подключается к зажимам «Внешн. мод». и переключатель рода модуляции ставится в положение «Внешн. мод». Необходимо иметь в виду, что звуковой генератор для обеспечения достаточной модуляции должен отдавать мощность (на нагрузку порядка 20 *ком*) около 0,5 *вт*.

Генератор стандартных сигналов СГ-1 (фиг. 15) применяется для испытания и настройки ультракоротковолновых приемников. Диапазон частот этого генератора 13 ÷ 330 *мггц* разбит на пять поддиапазонов: 13 22, 22 ÷ 50, 50 ÷ 120, ÷ 120 ÷ 240 и 240 ÷ 330 *мггц*. Шкала конденсатора про-

градуирована в мегагерцах. Погрешность установки частоты составляет не более $\pm 2\%$ от измеряемой величины. Выходное напряжение высокой частоты может регулироваться при помощи аттенюатора от 4 *мкв* до 20 *мв*. Максимальная погрешность выходного напряжения при пользовании кривыми не превышает $\pm 25$—$40\%$. Выходная емкость аттенюатора (прибор имеет емкостной делитель напряжения) составляет не более 100 *пф*, а выходное сопротивление равно 100 *ом*.



Фиг. 15. Генератор стандартных сигналов СГ-1.

Генератор СГ-1 предоставляет более широкие возможности в выборе рода модуляции, чем ГСС-6. Он допускает применение внутренней модуляции с частотой 1 000 *гц*, внешней модуляции в диапазоне частот от 100 до 20 000 *гц* (напряжение подключается к зажимам «Внешн. мод.»), импульсной модуляции от внешнего генератора (подключаемого к специальной фишке «Видео» или «Внешн. имп. ген.») и, кроме того, подачу немодулированного напряжения.

Методика работы на этом генераторе аналогична методике работы на генераторе ГСС-6.

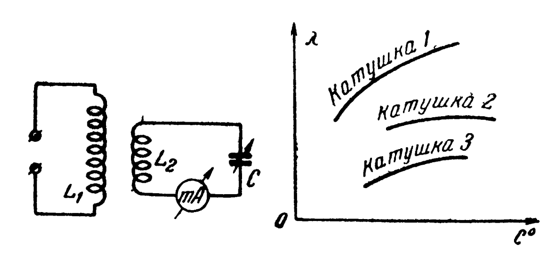
## ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ЧАСТОТЫ

При эксплуатации и ремонте радиоустройств весьма существенным моментом является измерение частоты колебаний. Наиболее простыми приборами, решающими такую задачу, являются резонансные волномеры.

В качестве резонансного волномера может быть использован обычный колебательный контур (фиг. 16), снабженный графиком градуировки и индикатором резонанса (измерительным прибором).

График волномера представляет зависимость длины волны (или частоты) волномера от угла поворота пластин его конденсатора. На графике наносится столько кривых, сколько сменных катушек имеет волномер.

Колебательный контур волномера должен обладать хорошей добротностью и стабильными параметрами, так как эти данные в основном и определяют точность измерений.




Фиг. 16. Схема и график резонансного волномера.

Резонансные волномеры хорошего качества дают точность порядка 0,1%. Погрешность при измерении частоты резонансным волномером складывается из погрешностей градуировки прибора и отсчета при определении момента резонанса.

Для измерения частоты в диапазоне длинных, средних и коротких волн применяются волномеры типов ДВ-2, КВ-5, УВ-3 и ДЦВ-1, охватывающие соответственно диапазоны частот 100 *кгц* ÷ 2 *мггц*, 2 ÷ 20 *мггц*, 20 ÷ 100 *мггц* и 430 ÷ 1 500 *мггц*, или универсальный волномер типа ВУ-1, допускающий проведение измерений частот от 50 *кгц* до 20 *мггц*.

Принципиальные схемы указанных приборов просты и мало отличаются от схемы на фиг. 16. Индикатором резонанса служит термоэлектрический прибор, состоящий из гальванометра магнитоэлектрической системы и вакуумного термоэлемента типа ТП-6 ($I = 60$ *мка*).

Для определения частоты радиопередатчика волномер связывается с колебательным контуром или антенной радиостанции. Настраивая волномер и наблюдая за показаниями гальванометра, находят положение резонанса, при котором отклонение стрелки гальванометра будет макси-

мальным. Найденное положение визира и соответствующая ему точка на градуировочной кривой указывают величину измеренной частоты.

Измерение частоты производится также методом сравнения. В основу этого метода положено явление биений, сущность которого заключается в следующем.

Если к какому-либо детектору (кристаллическому или ламповому) подводятся одновременно два различных по частоте колебания $f_1$ и $f_2$, то на выходе его, кроме этих частот, получается еще и так называемые комбинационные частоты, в числе которых будет разностная частота

$$F = f_2 - f_1$$

или

$$F = f_1 - f_2.$$

Если частоте $f_1$ соответствует частота $f_г$ градуированного генератора (например, гетеродинного волномера), а частоте $f_2$ — частота $f_x$ исследуемого генератора или передатчика и величины их очень близки друг к другу, то разностная частота $F$ лежит в пределах звуковых частот и будет услышана в телефоне.

При сближении частот обоих генераторов слышимый в телефоне тон будет понижаться и при совпадении частот $f_г$ и $f_x$ звук исчезнет совсем, так как $F = 0$. Отсутствие звука в телефоне, соответствующее равенству частот $f_г$ и $f_x$, носит название *нулевых биений.*

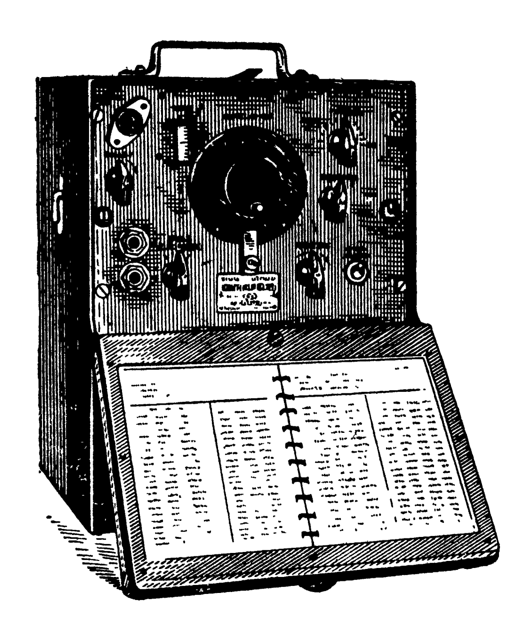
Точность измерения частот методом сравнения очень высока и зависит главным образом от того, насколько точно проградуирован образцовый источник колебаний.

Применение телефона как индикатора нулевых биений не обеспечивает высокой точности, так как звуки с частотой ниже 16—20 *гц* не слышны. Поэтому, когда в телефоне не слышно звука (нулевые биения), получается ошибка на $\pm 20$ *гц*. Для частоты 1 *мгц* ошибка составит 0,002%, для частот же звукового диапазона, например 1 000 *гц*, она будет уже 2%, что иногда может оказаться недопустимым.

Для повышения точности измерения вместо телефона на выход детектора включают чувствительный гальванометр магнитоэлектрической системы, по колебаниям стрелки которого можно более точно определить момент нулевых биений. Однако необходимо отметить, что если после детектора имеется усилитель низкой частоты, то способ определения нуля с помощью миллиамперметра непригоден из-за ем-

костной связи между каскадами. Практика показывает, что нулевые биения в этом случае достаточно хорошо прослушиваются в телефон в виде медленно меняющихся по частоте следования значительных шумов или шорохов, соответствующих моменту изменения тока при подходе к нулевым биениям, и сам момент совпадения частот может быть определен достаточно точно.

Более значительная ошибка в измерениях может быть вызвана так называемым явлением захватывания между



Фиг. 17. Гетеродинный волномер типа 526.

генератором с измеряемой частотой $f_x$ и гетеродинным волномером. Для уменьшения этой ошибки гетеродинный волномер следует связывать с измеряемым генератором очень слабо.

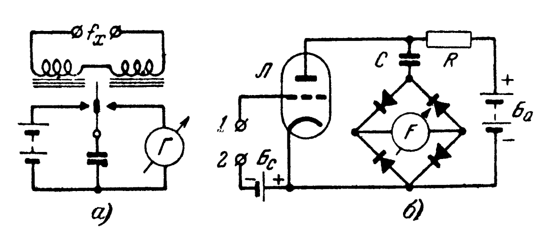
К числу приборов, использующих метод нулевых биений, относятся гетеродинные волномеры 2-ГВД, 2-ГВК, ВГ-4, ПГВ-1, 526 и 527, а также кварцевые калибраторы КК-3, КК-4 и КК-5. На фиг. 17 показан волномер типа 526.

Для измерения низких (звуковых) частот широкое применение получили приборы, использующие принцип, основанный на заряде конденсатора.

Конденсатор (фиг. 18,*а*) с помощью переключателя может включаться на заряд от батареи или на разряд через гальванометр *Г*.

Если переключатель управляется измеряемой частотой $f_x$, а заряд и разряд конденсатора происходят полностью, то за период измеряемого колебания низкой частоты полученное конденсатором и отдаваемое последним гальванометру количество электричества

$$q = C \cdot U.$$




Фиг. 18. Принципиальная и практическая схемы частотомера, использующего время заряда и разряда конденсатора.

Так как заряд и разряд конденсатора происходят с частотой $f_x$, то количество электричества, протекающее через гальванометр в 1 сек., будет:

$$q \cdot f_x = C \cdot U \cdot f_x = I,$$

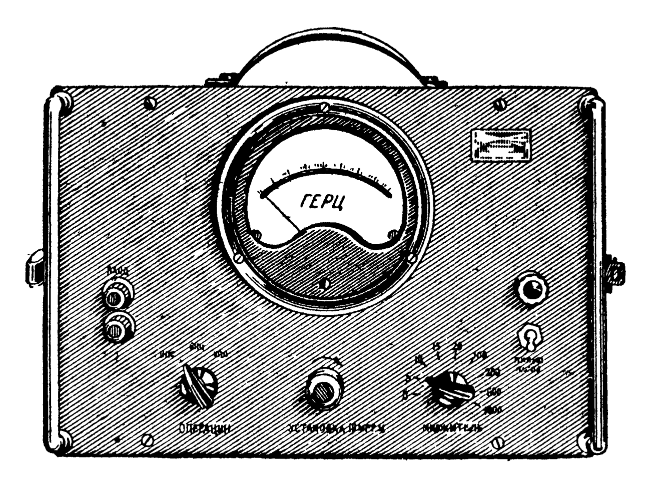
где $I$ — величина тока, регистрируемая гальванометром *Г*. Из полученного соотношения следует:

$$f_x = \frac{I}{C \cdot U}.$$

Таким образом, при заданных постоянных значениях $C$ и $U$ частота оказывается пропорциональной величине тока $I$, протекающего через гальванометр. Следовательно, на шкале гальванометра *Г* можно нанести значения частот и, таким образом, получить прямо показывающий частотомер.

В практической схеме частотомера электромеханическая схема переключения заменяется электронной (фиг. 18,*б*), и работа схемы происходит следующим образом. Напряжение измеряемой частоты подводится к зажимам *1* и *2*. При отрицательном полупериоде напряжения на сетке лампы *Л* лампа запирается, и конденсатор $C$ заряжается через сопротивление $R$ от источника постоянного напряжения $Б_а$.

При положительном полупериоде на сетке лампы *Л* последняя отпирается, и конденсатор *С* разряжается через лампу. Чтобы разряд конденсатора происходил полностью, сопротивление должно быть во много раз больше внутреннего сопротивления лампы. Однако заряд конденсатора до напряжения батареи и его полный разряд требуют определенного времени, поэтому схема при разных частотах имеет различную степень точности. Необходимо, чтобы заряд конденсатора, как и его разряд через лампу *Л*, занимал менее половины периода наиболее высокой измеряемой частоты.




Фиг. 19. Измеритель частот ИЧ-5.

Поэтому для получения удовлетворительной точности измерения требуется хорошее согласование элементов схемы, так как иначе может случиться, что показания прибора будут зависеть от формы исследуемых колебаний.

При надлежащем подборе элементов схемы и использовании ламп, имеющих большую крутизну характеристики, такой метод измерения частоты дает возможность изготовить частотомер для частот до $10^5$ *гц* с малой зависимостью от формы кривой измеряемого напряжения.

Наиболее распространенными приборами, основанными на этом принципе, являются ИЧ-5 (фиг. 19) и его прототип ИЧ-1. Диапазон частот, измеряемых прибором ИЧ-5 (10—100 000 *гц*), разбит на десять поддиапазонов. Точность измерений в первой половине диапазона $\pm 2\%$ от его номинального значения. Входное напряжение может быть любой

величины в пределах от 0,5 до 200 *в* с сохранением указанной точности. Активная составляющая входного сопротивления не ниже 0,2 *мгом*, входная емкость не более 30 *пф*.

Питание приборов осуществляется от сети переменного тока 110, 127 и 220 *в*. Допускаемое колебание сетевого напряжения может доходить до +10% от номинала.

Измерение частоты производится следующим образом. После включения прибора и 5-минутного прогрева переключатель «Операции» надо установить в положение 10 *кгц*, а переключатель «Множитель» — в положение 100 и ручкой «Установка 10 *кгц*» добиться показаний стрелки гальванометра точно на всю шкалу.

Затем нужно перевести переключатель «Множитель» последовательно в положения 200, 500 и 1 000. При этом показания отсчетного прибора должны составлять соответственно 50, 20 и 10 делений (несовпадение показаний на той или иной шкале свидетельствует о том, что показания этой шкалы смещены в ту или другую сторону).

После этого к зажимам «Вход» присоединяют провода, идущие к источнику измеряемой частоты (следует иметь в виду, что нижний зажим соединен с корпусом прибора), и переключатель «Множитель» устанавливают в положения 1 000, 500 и 200 так, чтобы частота собственного генератора 10 *кгц* и измеряемая частота не выходили за пределы шкалы.

Обратив внимание на показание отсчетного гальванометра и вращая переключатель «Множитель» против часовой стрелки, надо добиться показаний гальванометра, превышающих деление 40 шкалы. Наблюдая за показаниями стрелки гальванометра, переводят переключатель «Операции» в положение «Контроль». При этом допускается уменьшение показаний гальванометра в пределах одного деления шкалы. Далее, возвращают переключатель «Операции» в положение «Вход» и по показаниям стрелки гальванометра и положению переключателя «Множитель» производят отсчет измеряемой частоты.

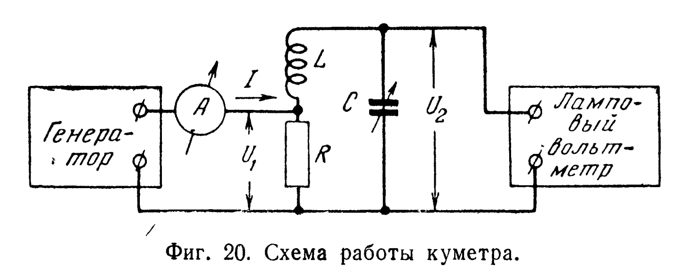
## ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ДОБРОТНОСТИ КОНТУРОВ И КАТУШЕК

Коэффициент резонанса, или добротность $Q$, является одной из существенных величин, характеризующих колебательный контур. Этот коэффициент показывает, во сколько раз напряжение, возникающее на контуре, больше

того, которое подведено к нему извне. Повышение добротности контуров увеличивает чувствительность всего радиотракта. Кроме того, с ростом $Q$ резонансная кривая контуров становится более острой и, таким образом, улучшается избирательность приемника.

Добротность контура при высоком качестве современных конденсаторов зависит в основном от добротности катушки. Поэтому, определив добротность контура, можно с достаточной точностью говорить о добротности катушки (добротностью катушки называется отношение реактивного сопротивления катушки к ее активному сопротивлению, т. е. $\frac{\omega L}{r} = Q$).

Определение добротности катушек в настоящее время производится с помощью куметров, работающих по следующему принципу. В колебательный контур $LC$ (фиг. 20)

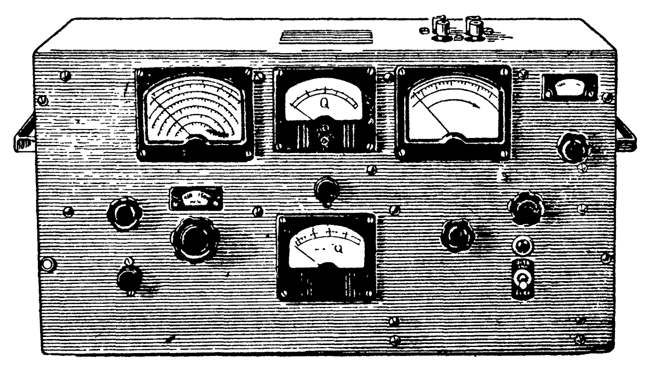



Фиг. 20. Схема работы куметра.

вводится высокочастотное напряжение $U_1$ в виде падения напряжения на сопротивлении $R$. При настройке контура в резонанс (или настройке генератора на частоту контура) напряжение $U_2$ на нем будет в $Q$ раз больше, чем вводимое в контур напряжение $U_1 = I \cdot R$, т. е. $U_2 = Q \cdot U_1$. Если при всех измерениях вводить в контур напряжение $U_1$ всегда одинаковой величины, то показания лампового вольтметра, измеряющего напряжение $U_2$, будет пропорционально величине $Q$. Таким образом, вольтметр можно отградуировать непосредственно в значениях $Q$.

Сопротивление $R$ должно быть во всех случаях значительно меньшим, чем общее последовательное сопротивление контура (по величине обычно не превышает 0,04—0,05 *ом*). Ламповый вольтметр должен обладать большим входным сопротивлением. Термоприбор $A$ для контроля тока, проходящего по сопротивлению $R$, должен иметь возможно меньшую частотную погрешность.

На указанном принципе работает выпускаемый в настоящее время всеволновой куметр типа КВ-1 (фиг. 21). Куметр позволяет измерять с точностью $\pm 5\%$ добротность от 25 до 625. Диапазон рабочих частот внутреннего генератора разбит на семь поддиапазонов и охватывает частоты от 50 *кгц* до 40 *мггц*. Точность градуировки шкалы генератора — порядка $\pm 2\%$. В измерительном контуре применен градуированный конденсатор, емкость которого может изменяться от 30 до 450 *пф*. Параллельно с ним в схему включен нониусный конденсатор ($C_{макс} = 3$ *пф*), применяемый для точной настройки измерительного контура на частоту генератора.



Фиг. 21. Куметр КВ-1.

Кроме измерения добротности, на куметре КВ-1 можно производить измерение индуктивности высокочастотных катушек и емкости конденсаторов, определение активных сопротивлений катушек и антенн и ряд других измерений.

При достаточно простой работе с куметром нужно главным образом следить за тем, чтобы не повредить термоприбор. Для этого ток с помощью соответствующей ручки регулировки надо вводить только после того, как подключены измеряемые катушки или конденсаторы, а выводить — до их отключения и после того, как настройка частоты генератора произведена хотя бы приблизительно.

Перед включением прибора в сеть соответствующего напряжения необходимо ручку установки тока повернуть до отказа влево, а выключатель сети поставить в положение «Выключено». После этого измеряемую катушку присоединяют к левым зажимам («Индуктивность») на

верхней панели прибора, переключателем диапазонов включают требуемый диапазон и устанавливают по левой шкале нужную частоту генератора.

Затем включают питание и после 3-минутного прогрева производят измерения. Для этого вращением ручки грубой установки тока вправо устанавливают стрелку нижнего прибора $Q$ на какой-либо множитель в зависимости от ожидаемой добротности катушки, а вращением ручки установки нуля верхнего прибора стрелку прибора устанавливают на нуль.

Далее, вращением ручек основного и нониусного конденсаторов настраивают контур в резонанс и отсчитывают величину по шкале верхнего прибора, пользуясь для этого также множителем шкалы нижнего прибора, если его стрелка стоит не на 1.

В случае, если измеряется добротность не одной катушки, а целого контура, конденсатор контура подключают к правым зажимам на верхней панели (задний зажим заземлен), а катушку — к левым зажимам. Измерительный и нониусный конденсаторы при этом устанавливают на минимальную емкость и настройку в резонанс производят либо изменением частоты внутреннего генератора, либо изменением емкости контура. При этих измерениях следует учесть, что действительная частота исследуемого контура будет несколько выше частоты генератора, так как параллельно измеряемому контуру присоединена начальная емкость прибора порядка 27 *пф*.

## ЭЛЕКТРОННЫЕ ОСЦИЛЛОГРАФЫ И ПРИСТАВКИ

Электронными или катодными осциллографами называются приборы, в которых с помощью электронно-лучевой трубки можно визуально наблюдать форму и характер электрических процессов, протекающих в какой-либо цепи. Они состоят из двух частей: электронно-лучевой трубки, на которой развертывается изображение, и развертывающей схемы.

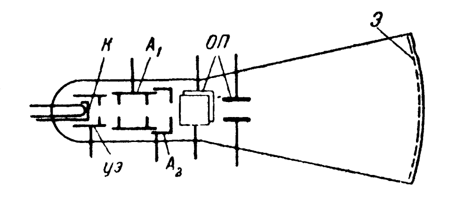
Электронно-лучевая трубка (фиг. 22) представляет собой специальный тип электронной лампы с подогревным катодом *К*, управляющим электродом *УЭ*, который регулирует поток электронов, и анодами $A_1$ и $A_2$.

Испускаемые раскаленным катодом и ускоренные электрическим полем анодов $A_1$ и $A_2$ электроны попадают на экран *Э* в виде узкого пучка. Ударяясь о флуоресцирующий экран, электроны в месте падения вызывают свечение

его. Яркость свечения зависит от свойств экрана и интенсивности электронного луча. Размеры светящейся точки на экране определяются качеством фокусировки. Фокусировка электронного луча осуществляется путем изменения напряжения, подводимого к анодам $A_1$ и $A_2$.

Поток электронов посредством электрического поля может быть отклонен в сторону. Отклонение производится двумя перпендикулярно расположенными парами отклоняющих пластин *ОП*. Перемещение светящейся точки на экране пропорционально приложенным к пластинам напряжениям.

Если к одной из пар пластин подвести постоянное напряжение, то пятно переместится по экрану на расстояние, пропорциональное этому напряжению и чувствительности трубки. Чувствительность трубки зависит от ее конструкции и напряжений на анодах $A_1$ и $A_2$. Как правило, средняя чувствительность большинства электронно-лучевых трубок лежит в пределах $0{,}8 \div 0{,}3$ *мм/в*. Это значит, что при чувствительности, например, 0,5 *мм/в* для отклонения электронного луча на 50 *мм* нужно на отклоняющие пластины подать напряжение — 100 или +100 *в*.




Фиг. 22. Схема электронно-лучевой трубки.

Если одновременно подвести некоторое постоянное напряжение и ко второй паре пластин, то пятно окажется в вершине прямоугольника, построенного на векторах перемещений пятна в двух взимно перпендикулярных направлениях (обозначенных как вертикальное и горизонтальное).

Фокусированный электронный поток вызывает появление на экране трубки лишь небольшого светящегося пятна, и только благодаря инерции зрительного восприятия (а также световой инерции экрана) движение пятна воспринимается как линия или изображение.

Рассмотрим поведение электронного луча при одновременной подаче переменных напряжений на обе пары отклоняющих пластин. Электронный луч в этом случае будет находиться под действием двух сил и отклонится в направлении их результирующей. Поведение луча зависит от соотношения амплитуд, частот и фаз напряжений, подводимых к отклоняющим пластинам.

На фиг. 23,*а* изображена картина отклонения электронного луча под действием двух синусоидальных, равных по амплитуде и находящихся в одинаковой фазе напряжений, которые поданы одновременно на обе пары отклоняющих пластин электронно-лучевой трубки. В результате воздействия двух сил на экране появится наклоненная под углом 45° линия, длина которой зависит от амплитуды приложенного напряжения и чувствительности трубки.

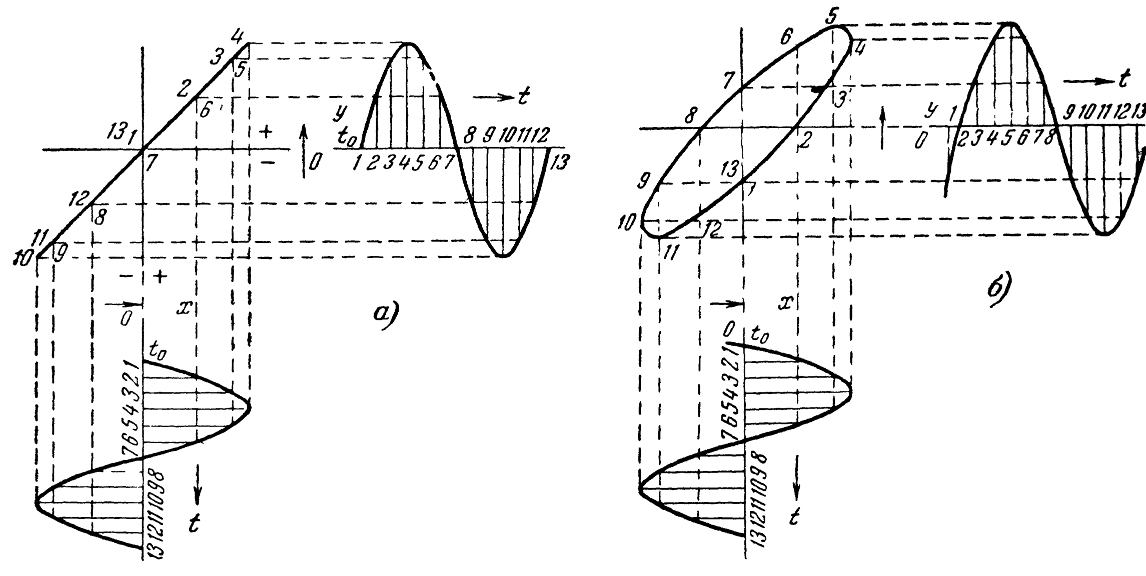
На фиг. 23,*б* показан случай, когда фазы напряжений, подводимых к отклоняющим пластинам, сдвинуты на 45°. Результирующее отклонение луча в этом случае имеет форму эллипса, размеры которого (большой и малой оси) зависят от величин напряжений. При уменьшении фазового сдвига между напряжениями $U_x$ и $U_y$ с 45 до 0° эллипс сплющивается и размеры малой оси уменьшаются; при сдвиге фаз, равном нулю, эллипс переходит в прямую наклонную линию; при увеличении фазового угла с 45 до 90° малая ось эллипса постепенно увеличивается и при сдвиге, равном 90°, образуется окружность.

Эти изображения (фигуры Лиссажу) принимают более сложную форму, если напряжения, подводимые к отклоняющим пластинам, отличаются, кроме того, еще по частоте и амплитуде. На фиг. 24 изображены фигуры при разных фазовых и частотных соотношениях. Рассмотрение их показывает, что электронно-лучевая трубка может быть использована и для измерения частот методом сравнения, о чем более подробно будет рассказано дальше.

При помощи электронно-лучевой трубки можно также наблюдать форму приложенного напряжения, развернув его во времени. Для этого на одну пару отклоняющих пластин подается исследуемое напряжение, а на другую — напряжение, пропорциональное времени. Оба напряжения, действуя на электронный луч во взаимно перпендикулярных направлениях, позволяют получить на экране изображение формы исследуемого напряжения. Исследуемый сигнал обычно подводится к паре пластин, дающих вертикальное отклонение луча на экране, а напряжение развертки (обычно пилообразной формы) — к горизонтально отклоняющим пластинам.

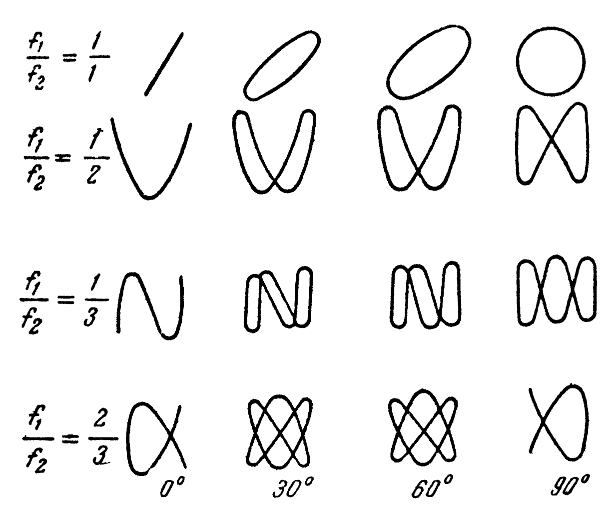
Простейшими схемами получения пилообразных импульсов напряжения являются схемы с использованием тиратрона или мультивибратора.

Для того чтобы изображение исследуемого напряжения стояло на экране неподвижно, необходима принудительная




Фиг. 23. Схема образования фигур Лиссажу.

синхронизация между частотой импульсов, даваемых генератором развертки, и частотой колебаний исследуемого напряжения. Применяются довольно разнообразные схемы синхронизации, из которых наиболее простая использует в качестве синхронизирующего напряжения часть исследуемого напряжения, снимаемого с делителя. В зависимости от режима работы тиратрона или мультивибратора и величины синхронизирующего напряжения, снимаемого с потенциометра синхронизации, разряд тиратрона или опрокидывание мультивибратора совершаются с принудительной синхрони-

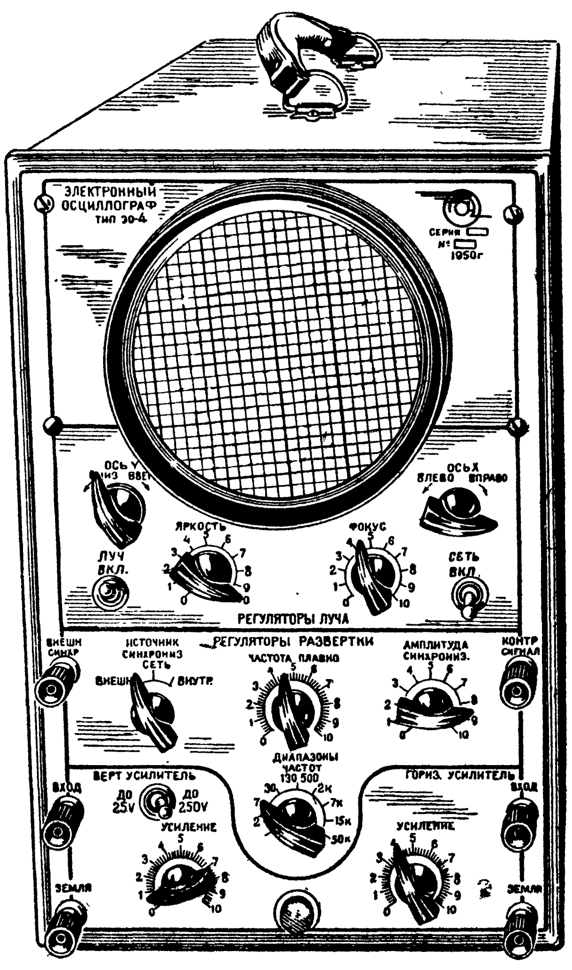



**Фиг. 24. Фигуры Лиссажу для различных соотношений частот и фазовых углов.**

зацией при первом, втором, третьем и т. д. импульсах синхронизирующего напряжения. Если для синхронизации подается исследуемое напряжение, то регулировкой синхронизирующего напряжения можно заставить оставаться неподвижными на экране один, два, три и больше (до 10—15) периодов исследуемого напряжения. В этом случае частота генерации развертывающих импульсов составляет $1/n$ ($n$ — целое число) частоты поступающих на синхронизатор импульсов.

В том случае, если синхронизация по каким-либо причинам не обеспечена, изображение не будет стоять на месте, а будет перемещаться в зависимости от соотношения частот сигнала и развертки вправо или влево,

В последние годы нашей промышленностью выпущены осциллографы типов ЭО-4, ЭО-7 (диаметр экрана 125 *мм*), ЛИ-51 и ЭО-5 (диаметр экрана 75 *мм*). Внешний вид




Фиг. 25. Осциллограф ЭО-4.

осциллографа ЭО-4 приведен на фиг. 25, а технические данные всех упомянутых осциллографов — в табл. 3.

В отличие от осциллографов типов ЛИ-51 и ЭО-5 осциллографы типов ЭО-4 и ЭО-7 имеют высокий коэффициент усиления исследуемых напряжений, что позволяет

*Таблица 3*

| Наименование параметра | Тип осциллографа | | | |
|---|---|---|---|---|
| | ЛИ-51 | ЭО-5 | ЭО-4 | ЭО-7 |
| Диапазон частот генератора развертки, *гц* . . . . | 20 ÷ 20 000 | 2 ÷ 50 000 | 2 ÷ 20 000 | 2 ÷ 50 000 |
| Диапазон исследуемых частот, *гц* | 20÷100 000 | 2÷1 000 000 | 2÷1 000 000 | 2÷1 000 000 |
| Чувствительность отклонения луча с усилителем на частоте 1 000 *гц*: | | | | |
| по вертикальной оси, *мм/в* . . | 35 | 25 | 2 500 | 2 500 |
| по горизонтальной оси, *мм/в* . . | 50 | 25 | 50 | 45 |
| Чувствительность отклонения луча без усилителя: | | | | |
| по вертикальной оси, *мм/в* . . | 0,8 | 0,85 | 0,37 | 0,37 |
| по горизонтальной оси, *мм в* . . | 1,2 | 1,0 | 0,43 | 0,43 |
| Коэффициент усиления: | | | | |
| вертикального усилителя . . . . | 45 | 30 | 1 800 | 1 800 |
| горизонтального усилителя . . . . | 42 | 25 | 30 | 35 |
| Входное сопротивление, *мгом*. . | 1 ± 0,2 | 0,5 | 2 | 5 |
| Входная емкость, *пф* . . . . | 40 — 50 | 35—40 | 50 | 30 |

производить исследования весьма слабых сигналов без предварительного усиления. Кроме того, получаемые на трубке осциллографа изображения (при средней величине подаваемого сигнала) могут быть растянуты по горизонтали и вертикали до 3-кратного размера по отношению к диаметру трубки. Это позволяет рассматривать не только кривую в целом, но и отдельные ее участки в увеличенном масштабе.

Хотя перечисленные осциллографы и имеют некоторые конструктивные и электрические различия, однако работа с ними в общем подобна разбираемой ниже работе с наиболее распространенным осциллографом ЛИ-51.

После включения прибора в сеть и 3-минутного прогрева ручку регулировки яркости медленно повертывают вправо до тех пор, пока яркость свечения пятна или черты не станет достаточной для наблюдения. При этом во избежание прожигания экрана переключатель синхронизации нужно поставить в положение «Внутр.» и вращением ручки «Горизонтальное усиление» длину горизонтальной черты установить несколько меньшей диаметра трубки.

Затем ручкой «Фокус» добиваются наиболее резкого изображения (фокусировки) черты. Если черта получается не в середине экрана, то вращением ручек «Вертикальное положение пятна» и «Горизонтальное отклонение пятна» устанавливают ее в нужное положение. После этого к левым зажимам «Вход — земля» подключают провода от исследуемых приборов или аппаратов, причем более низкий потенциал схемы по отношению к земле присоединяют к зажиму «Земля».

Получение устойчивого изображения на экране какого-либо периодического процесса (синхронизация) достигается регулировкой ручек «Диапазон», «Частота» и «Амплитуда синхронизации».

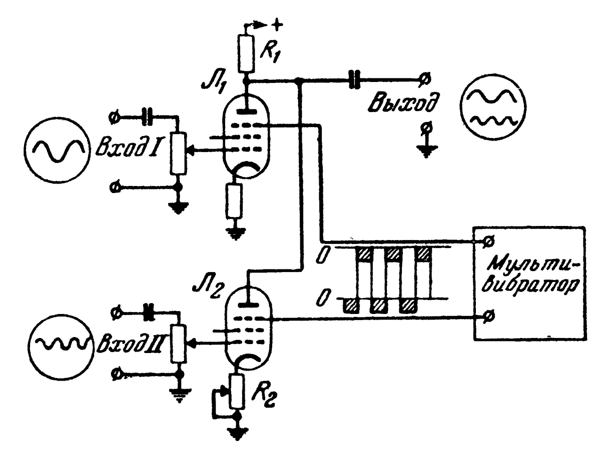
Наличие на входе осциллографов разделительных конденсаторов позволяет подключить их к цепям, в которых, кроме переменной, имеется еще и постоянная составляющая тока. Следует иметь в виду, что во избежание пробоя входных конденсаторов осциллографы не следует включать в участки цепи, напряжение на которых выше 250—300 *в*.

Осциллограф является одним из наиболее универсальных приборов и с помощью него можно произвести много самых разнообразных измерений. Для еще большего расширения возможностей использования осциллографа к нему придаются приставки: электронный коммутатор ЭК-1, приставка резонансных кривых РК-1 и приставка ждущей развертки ЖР-1.

Приставка ЭК-1 представляет собой прибор, при помощи которого можно рассматривать на экране осциллографа одновременно две самостоятельные осциллограммы. Она состоит из двухканального усилителя на лампах $Л_1$ и $Л_2$ (фиг. 26), работающих на общее нагрузочное сопротивление $R_1$, и симметричного мультивибратора, генерирующего симметричные колебания прямоугольной формы. Отрицательные импульсы, создаваемые мультивибратором и сдвинутые по фазе на 180°, подаются на противодинатронные сетки ламп $Л_1$ и $Л_2$, запирая попеременно эти

лампы в такт колебаниям мультивибратора. На управляющие сетки ламп $Л_1$ и $Л_2$ («Вход *I*» и «Вход *II*») подаются два подлежащих исследованию напряжения.

Так как лампы $Л_1$ и $Л_2$ работают попеременно, то на нагрузочном сопротивлении $R_1$ выделяются напряжения, которые попеременно усиливаются то одним, то другим усилителем и через конденсатор подводятся к выходным зажимам. Частота переключения в зависимости от положения переключателя равна либо 3 500, либо 100 *гц*.




Фиг. 26. Схема приставки ЭК-1.

При исследовании колебаний с частотой ниже частоты переключения изображение получается пунктирным, а выше этой частоты — сплошным.

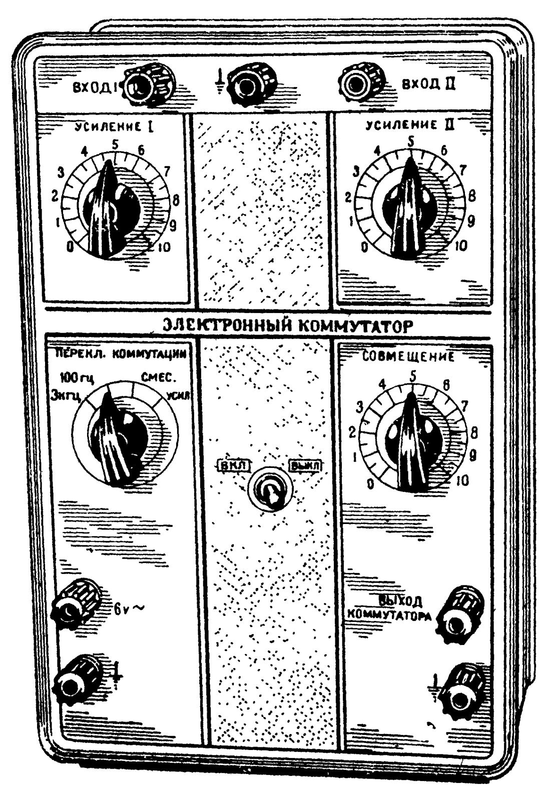
Сопротивление $R_2$ («Совмещение») позволяет регулировать общий ток лампы $Л_2$ и, следовательно, средний потенциал ее анода. Этим создается возможность передвигать изображение от второго усилителя вверх или вниз по экрану.

Переключатель коммутации (не показан на принципиальной схеме) позволяет выключать мультивибратор, и тогда лампы $Л_1$ и $Л_2$ работают одновременно и непрерывно. В этом случае напряжения от обоих усилителей смешиваются на нагрузке $R_1$ и на экране осциллографа получится изображение суммы двух кривых. В четвертом положении переключателя работает лишь одна лампа $Л_2$. В этом случае прибор ЭК-1 действует как добавочный одноканальный усилитель к осциллографу, причем сопро-

тивление $R_2$ дает возможность регулировать усиление, не изменяя частотной характеристики усилителя.

Работа с приставкой ЭК-1 (фиг. 27) производится следующим образом.

Прибор включается в сеть и выключатель питания ставится в положение «Включено». На входы *I* и *II* подают



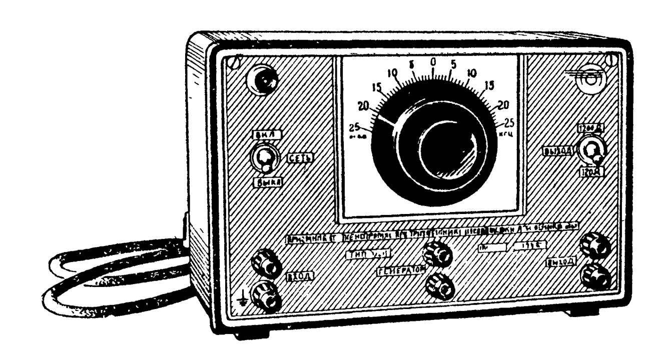

Фиг. 27. Электронный коммутатор ЭК-1.

исследуемые напряжения и выход ЭК-1 соединяют со входом осциллографа. Переключатель синхронизации осциллографа устанавливают в положение «Внешн.» и правый (потенциальный) зажим его «Вход» соединяют с одним из входов ЭК-1.

Совпадения или сближения горизонтальных осей изображений добиваются поворотом ручки «Совмещение».

При работе с приставкой следует добиваться возможно меньшего усиления в осциллографе за счет большего усиления в приставке во избежание чрезмерного усиления импульсов коммутирующего напряжения.

Приставка резонансных кривых РК-1 (фиг. 28) предназначена для визуального исследования с помощью осциллографа настройки контуров высокой и промежуточной частот в приемнике.



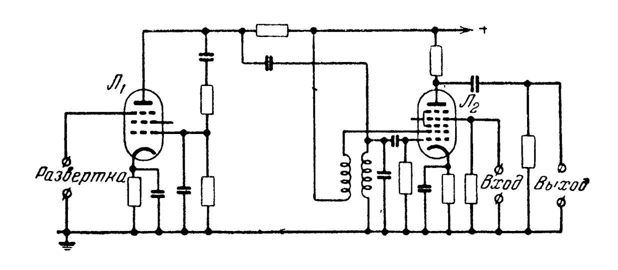

Фиг. 28. Приставка резонансных кривых РК-1.

Прибор представляет собой преобразователь частоты, который преобразует немодулированный сигнал от генератора высокой частоты в частотно-модулированный сигнал, т. е. в сигнал, частота которого периодически меняется. Этот сигнал подается на исследуемое приемное или резонансное усилительное устройство и после прохождения через соответствующий каскад (или несколько последовательных каскадов) подводится к вертикальному входу осциллографа. При этом определенному отклонению луча по горизонтали соответствует пропорциональное изменение частоты сигнала и образующаяся на экране трубки фигура покажет зависимость усиления исследуемого объекта от частоты подводимого сигнала, т. е. резонансную кривую.

Из принципиальной схемы (фиг. 29) видно, что преобразователь имеет гетеродин (лампа $Л_2$), собранный по обычной схеме с индуктивной связью. Колебательный контур, настроенный на частоту 4 *мггц*, включен в цепь гетеродинной сетки. Анодом гетеродина служит вторая сетка. Параллельно контуру включена реактивная лампа $Л_1$, с помощью которой производится изменение частоты. Реактив-

ная лампа управляется напряжением развертки от какого-либо генератора звуковой частоты (это же напряжение можно использовать в качестве синхронизирующего в осциллографе).

При регулировке контуров высокой и промежуточной частот приемника на основную частоту генератора приставки накладывается путем подачи на сигнальную сетку лампы $Л_2$ напряжение от генератора стандартных сигналов любого типа. Частота этого напряжения устанавливается так, что в результате биений на нагрузочном сопротивлении (а, следовательно, и на выходе), кроме основных частот, будет и необходимая разностная частота.




Фиг. 29. Схема приставки резонансных кривых РК-1.

Максимальная частота девиации (отклонения) частоты от ее среднего значения в приставке РК-1 не превышает +25 *кгц*, а величина выходного сопротивления равна (в зависимости от положения переключателя «Выход») 120 и 1 200 ом.

## ПРИБОРЫ ДЛЯ КОНТРОЛЯ И ИЗМЕРЕНИЯ МОДУЛЯЦИИ

Значение измерения и контроля модуляции очень важно, особенно для любителей-коротковолновиков. Искаженная модуляция ухудшает связь с корреспондентом и затрудняет прием текста. Малая модуляция ($m < 0{,}3$), несмотря на значительный уровень сигнала, дает слабую слышимость, а перемодуляция ($m > 1$) приводит не только к искажению основной модулирующей частоты, но и к расширению (за счет появления гармонических составляющих) полосы частот, излучаемой передатчиком.

Напомним, что модуляция определяется зависимостью между модулирующим напряжением (напряжение на последнем каскаде усилителя низкой частоты) и напряже-

нием несущей частоты. Величина изменения тока несущей частоты в зависимости от напряжения модулятора характеризуется коэффициентом модуляции $m$.

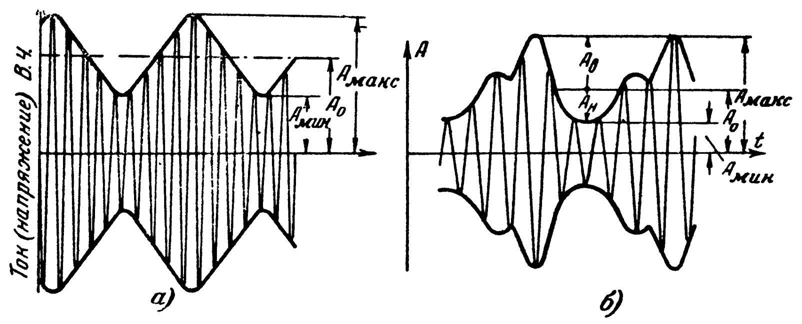
Если высокочастотные колебания модулируются синусоидальным напряжением (фиг. 30,*а*), то коэффициент модуляции может быть определен либо как

$$m = \frac{A_{макс} - A_0}{A_0} = \frac{A_0 - A_{мин}}{A_0},$$

либо как

$$m = \frac{A_{макс} - A_{мин}}{A_{макс} + A_{мин}}.$$

Если же огибающая модулированного сигнала несинусоидальна и асимметрична, как это обычно и бывает (фиг. 30,*б*), но сохраняет некоторое время периодический




Фиг. 30. Формы модулированных высокочастотных колебаний.

характер, то вторая приведенная формула выражает некоторую среднюю величину коэффициента модуляции, не представляющую какого-либо практического интереса, так как за этой средней величиной могут быть скрыты и перемодуляция и неправильный выбор рабочей точки модуляторной лампы.

В этом случае коэффициент модуляции определяется раздельно для верхней и нижней частей огибающей модуляции, т. е.

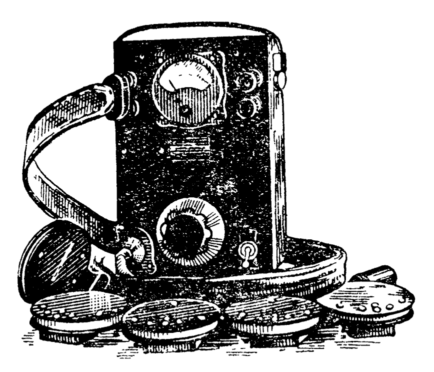
$$m_в = \frac{A_в}{A_0} \text{ (для коэффициента модуляции „вверх“);}$$

$$m_н = \frac{A_н}{A_0} \text{ (для коэффициента модуляции „вниз“).}$$

Простейшая оценка качества модуляции может быть осуществлена посредством прослушивания передатчика на приемник. Однако в этом случае глубина модуляции и причины искажений за счет модуляции (если таковые окажутся) не могут быть установлены.

Более объективным методом контроля глубины модуляции является применение измерителя глубины модуляции, работающего на принципе линейного детектора с углом отсечки меньше 90°, например такого, как ИМ-8 (фиг. 31).

Этот измеритель глубины модуляции предназначен для определения коэффициента модуляции радиотелефонных передатчиков с несущими частотами от 150 *кгц* до 30 *мггц* ($\lambda = 2\,000 \div 10$ *м*), модулированными синусоидальным напряжением частотой $50 \div 10\,000$ *гц* при коэффициенте модуляции ниже 60% и $50 \div 5\,000$ *гц* при коэффициенте модуляции до 100%.



Фиг. 31. Измеритель модуляции ИМ-8.

Отсчет глубины модуляции производится по установке стрелки гальванометра на риску, отмеченную на шкале гальванометра „Положение отсчета *М*%“. При этом показания соответствуют выражению

$$m = \frac{A_{макс} - A_{мин}}{A_{макс} + A_{мин}} \cdot 100\%.$$

Связь с передатчиком, мощность которого должна быть не менее 0,1 *вт*, индуктивная. Для контроля величины связи, обеспечивающей точные показания, прибор имеет кнопочный переключатель, переключающий гальванометр на схему, работающую как вольтметр. При нормальной связи стрелка гальванометра должна находиться в пределах заштрихованной полосы шкалы. Минимальная связь соответствует левой границе полосы «Нормальная связь» на шкале гальванометра, а максимальная связь — правой границе полосы.

Измерение коэффициента модуляции при помощи прибора ИМ-8 производится в следующем порядке.

К прибору подключается катушка связи, соответствующая измеряемому диапазону. Включается питание, и прибор прогревается в течение 3 мин. В положении переключателя «Контроль связи» посредством регулировки расстояния и расположения катушки связи относительно контура передатчика или эквивалента антенны устанавливают оптимальную связь. Затем переключатель ставят в положение «Отсчет *М*%» и повертывают ручку с делениями до отказа влево (при этом стрелка гальванометра должна встать на нуль). Плавно поворачивая ручку вправо, устанавливают стрелку гальванометра на риску «Положение отсчета» и на ручке читают значение коэффициента модуляции.

Прибор ИМ-8 может быть использован как детектор, на выходе которого получается постоянное по направлению пульсирующее напряжение, повторяющее форму модулирующего колебания. Это напряжение можно исследовать с помощью осциллографа или анализатора вольтажа или же прослушать на телефон. Для этой цели у прибора ИМ-8 предусмотрены специальные зажимы «Выход».

Кроме того, прибор используется и в качестве индикатора превышения глубины модуляции над заданным уровнем. В этом случае отсчетная ручка устанавливается на заданный коэффициент модуляции и прибор связывается с передатчиком. Если коэффициент модуляции передатчика превышает установленную величину, то гальванометр дает бóльшие показания.

* * *

Рассмотренные измерительные приборы в большинстве своем сложны и дороги. Работать с такими приборами нужно осторожно и аккуратно.

При включении любого прибора, питающегося от электросети, необходимо убедиться, что включение его трансформатора соответствует номинальному напряжению сети.

Предел измерения всякого прибора устанавливается, как правило, сперва значительно бóльшим, чем ожидаемая величина, и уже после того как это будет необходимо, измерения можно произвести на следующем, меньшем пределе. При этом переход с одного предела на другой в вольтметрах и амперметрах во избежание порчи прибора нужно производить при отключенных соединительных проводах или при выключенном на короткое время питании.

Присоединение исследуемых деталей или аппаратов к генератору стандартных сигналов следует производить особенно осторожно и ни в коем случае нельзя допускать

подключения генератора к цепям, в которых имеется какое-либо напряжение (постоянное или переменное). Поэтому выход генератора стандартных сигналов нужно подключать к схемам лишь через разделительный конденсатор емкостью 500—1 000 *пф*.

Во избежание путаницы в соединениях, часто становящейся причиной порчи приборов, проводники, соединяющие приборы, должны быть короткими и располагаться по возможности без перекрещиваний (для удобства рекомендуется пользоваться разноцветными проводами).

В приборах с высоким напряжением измерения рекомендуется производить одной рукой с помощью хорошо изолированного щупа. Второй провод должен быть надежно соединен с корпусом (или минусом анодного напряжения).

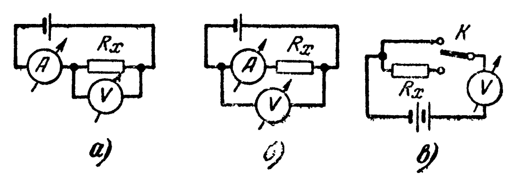
Измерения с ламповыми приборами нужно производить после их предварительного 10—15-минутного прогрева (включения), так как только после этого можно получить правильные показания.

## ГЛАВА ТРЕТЬЯ

# ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ДЕТАЛЕЙ

### ИЗМЕРЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЙ

Выше указывалось, что для измерения сопротивлений применяются омметры и мегомметры, однако при отсутствии таких приборов сопротивление можно измерить и другими способами.




Фиг. 32. Схемы измерения сопротивлений.

Одним из простых способов измерения сопротивления является метод амперметра-вольтметра.

Для измерения сопротивлений по этому методу составляется цепь из источника тока, неизвестного сопротивления $R_x$, вольтметра и амперметра (фиг. 32). Если измеряемое сопротивление мало по сравнению с внутренним сопротивлением вольтметра, то применяется схема фиг. 32,*а*.

В этом случае током, ответвляющимся в вольтметр, можно пренебречь. Если же сопротивление соизмеримо с сопротивлением вольтметра и значительно больше сопротивления амперметра, то следует предпочесть схему фиг. 32,*б*.

По показаниям вольтметра и амперметра подсчитывают величину сопротивления по формуле

$$R_x = \frac{U}{I}.$$

Напряжение источника тока подбирается в зависимости от величины измеряемого сопротивления и чувствительности амперметра. Чем больше сопротивление и меньше чувствительность амперметра, тем выше должно быть взято напряжение.

При отсутствии амперметра измерение сопротивления можно произвести с помощью одного вольтметра, внутреннее сопротивление которого известно. В этом случае можно производить измерения сопротивлений, величины которых отличаются от внутреннего сопротивления вольтметра не более чем в 10—15 раз (иначе точность отсчета будет незначительна).

Схема измерения сопротивлений с помощью одного вольтметра показана на фиг. 32,*в*. Вначале при верхнем положении ключа *К* измеряется напряжение $U_б$ источника питания, а затем ключ переводится в нижнее положение и делается второе измерение напряжения $U_x$. Так как при последовательном соединении сопротивления вольтметра $R_{пр}$ с неизвестным сопротивлением $R_x$ напряжение $U_б$ распределяется пропорционально сопротивлениям, то искомое сопротивление

$$R_x = R_{пр} \cdot \frac{U_б - U_x}{U_x}.$$

Напряжение источника подбирается так, чтобы при первом измерении стрелка отклонилась на достаточно большой угол.

## ИЗМЕРЕНИЕ ИНДУКТИВНОСТИ И ВЗАИМОИНДУКТИВНОСТИ КАТУШЕК

Наиболее распространенными способами измерения индуктивности катушек, кроме рассмотренного ранее способа с мостовой схемой, являются метод вольтметра-амперметра и резонансный метод.

Метод вольтметра-амперметра применяется при измерении больших величин индуктивности, например индуктивности катушек с сердечником, дросселей фильтра и т. п.

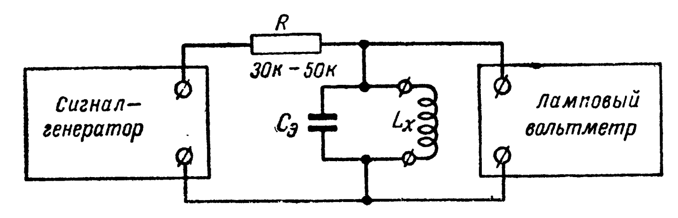
Для измерения по этому методу через измеряемую обмотку пропускают переменный ток с частотой $f$ (в большинстве случаев для этих целей пользуются источником тока промышленной частоты $f=50$ *гц*). Величина тока $I$ измеряется миллиамперметром переменного тока. Одновременно вольтметром измеряют падение напряжения $U$ на измеряемой катушке. Тогда величина индуктивности катушки (при условии, что индуктивное сопротивление $X_L \gg R_L$)

$$L_x = \frac{U}{6{,}28 \cdot f \cdot I} \text{ гн.}$$

Если активное сопротивление $R_L$ будет значительным, то вычисление индуктивности можно произвести по формуле

$$L_x = \frac{\sqrt{\left(\frac{U}{I}\right)^2 - R_L^2}}{6{,}28 \cdot f \cdot I} \text{ гн.}$$

Резонансный метод применяется в основном для определения малых индуктивностей катушек, например катушек контуров высокой частоты, так как при больших




Фиг. 33. Схема измерения индуктивностей резонансным методом.

значениях индуктивностей измерения приходится вести на низких радиочастотах, резонанс на которых из-за малой добротности катушек проявляется не столь резко, и потому при измерениях получаются большие погрешности.

Измерения резонансным методом производятся по схеме, представленной на фиг. 33. Параллельно измеряемой катушке присоединяется конденсатор постоянной емкости $C_э$. Контур слабо (через сопротивление 30 —

100 *ком*) связывается с генератором стандартных сигналов. Последний при измерении настраивается в резонанс с контуром. Момент резонанса определяется по максимальному отклонению стрелки лампового вольтметра. Индуктивность катушки подсчитывается по формуле

$$L_x = \frac{2,53 \cdot 10^{10}}{f^2 \cdot C_э},$$

где $L_x$ — измеряемая индуктивность, *мкгн*;

$C_э$ — емкость присоединенного к катушке конденсатора, *пф*;

$f$ — частота генератора, *кгц*.

При подсчете индуктивности по приведенной формуле не учитывается собственная емкость катушки, которой в большинстве случаев можно пренебречь. Если же собственная емкость $C_0$ катушки велика, то вычисление производится по формуле

$$L_x = \frac{2,53 \cdot 10^{10}}{f^2 \, (C_э + C_0)}.$$

Для более точного определения индуктивности катушки (при наличии распределенной емкости) с погрешностью не более 1% измерения необходимо производить на частотах, значительно отличающихся от частоты собственного резонанса катушки.

Измерение индуктивности катушек можно производить также с помощью куметра, который позволяет измерять индуктивности катушек в пределах 0,1 *мкгн* — 100 *мгн*.

Для измерения индуктивности в этом случае катушка подключается к зажимам «Индуктивность» (левая пара зажимов на верхней панели куметра КВ-1), а генератор устанавливается в зависимости от величины измеряемой индуктивности на одну из частот в соответствии с табл. 4.

*Таблица 4*

| Частота | Диапазон измерения индуктивности | Цена деления шкалы |
|---|---|---|
| 24 *мггц* | 0,1 ÷ 1 *мкгн* | 0,1 |
| 7,6 „ | 1 ÷ 10 „ | 1,0 |
| 2,4 „ | 10 ÷ 100 „ | 10,0 |
| 760 *кгц* | 0,1 ÷ 1 *мгн* | 0,1 |
| 240 „ | 1 ÷ 10 „ | 1,0 |
| 76 „ | 10 ÷ 100 „ | 10,0 |

После этого ручкой регулировки тока стрелка нижнего прибора устанавливается в положение *1*, вращением ручки измерительного конденсатора (нониусный конденсатор установлен на нуль) контур настраивается в резонанс и величина измеренной индуктивности определяется по шкале, нанесенной под шкалой емкостей градуированного конденсатора.

При отсчете нужно учитывать цену деления шкалы для данной частоты, указанную в табл. 4.

Точность измерения индуктивности зависит от величины собственной емкости катушек и возрастает с увеличением емкости, введенной в измерительный контур. В случае необходимости учета возникающей отсюда погрешности определение индуктивности нужно производить расчетным путем по формуле

$$L_x = \frac{2{,}53 \cdot 10^{10}}{f^2 \cdot (C_1 + C_0)},$$

где $L_x$ — индуктивность, *мкгн*;
$f$ — частота, *кгц*;
$C_1$ — емкость измерительного конденсатора, *пф*;
$C_0$ — собственная емкость катушки, *пф*.

Определение собственной емкости катушки может быть произведено посредством вторичного измерения на несколько отличной частоте $f_2$ генератора тока и соответствующей подстройки измерительного конденсатора. Тогда собственная емкость катушки может быть подсчитана по формуле

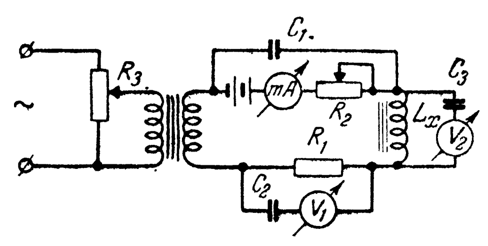
$$C_0 = C_1 \left(\frac{f_1}{f_2 - f_1}\right)^2 - C_2 \left(\frac{f_2}{f_2 - f_1}\right)^2,$$

где $f_1$ — частота генератора при первом измерении, *кгц*;
$f_2$ — частота генератора при втором измерении, *кгц*;
$C_1$ — емкость конденсатора при первом измерении, *пф*;
$C_2$ — емкость конденсатора при втором измерении, *пф*.

Измерение индуктивности катушек и трансформаторов, имеющих железный сердечник и предназначенных для работы с подмагничиванием, несколько сложнее, так как из-за наличия постоянного магнитного поля, создаваемого постоянным током (подмагничиванием), их индуктивность значительно изменяется. Поэтому при измерениях индуктивности таких дросселей и трансформаторов их приходится ставить в условия, которые соответствуют их нормальной работе. Для этого через обмотку трансформа-

тора или дросселя пропускают одновременно два тока: постоянный, равный подмагничивающему току, и переменный.

Измерение производится по методу вольтметра-амперметра (фиг. 34). Величину переменной составляющей тока $I$ определяют посредством измерения падения переменного напряжения $U_1$ на известном сопротивлении $R_1$ вольтметром $V_1$, а падение напряжения $U_2$ на измеряемой индуктивности $L_x$ измеряется через конденсатор $C_3$ (1÷2 *мкф*) вольтметром $V_2$.




Фиг. 34. Схема измерения индуктивности катушек с подмагничиванием.

Так как частота известна (можно пользоваться промышленной частотой $f = 50$ *гц*), то определение величины индуктивности может быть произведено по формуле

$$L_x = \frac{U_2}{6{,}28 \cdot f \cdot I} = \frac{U_2}{6{,}28 \cdot f} \cdot \frac{R_1}{U_1}.$$

Ток подмагничивания регулируется реостатом $R_2$ и устанавливается по миллиамперметру магнитоэлектрической системы. Для уменьшения падения напряжения переменного тока на участке батарея — миллиамперметр — реостат весь участок заблокирован конденсатором $C_1$ большой емкости.

Порядок измерения индуктивности следующий.

Реостатом $R_2$ устанавливают требуемую величину тока подмагничивания. Затем подают переменное напряжение, постепенно увеличивая его потенциометром $R_3$, включенным в первичную обмотку трансформатора. Последний необходим для преграждения пути постоянному току в цепь источника тока звуковой частоты. Следя за показаниями приборов $V_1$ и $V_2$, потенциометром $R_3$ устанавливают такую величину переменного тока $I = \frac{U_2}{R_1}$, при кото-

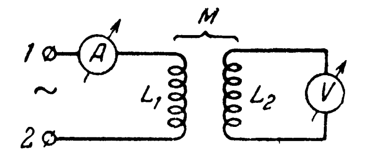
рой практически работает испытываемый трансформатор или дроссель. Величина постоянного сопротивления $R_1$ выбирается такой, чтобы обеспечить достаточное падение напряжения для измерения вольтметром $V_1$.

Одним из наиболее простых способов измерения взаимоиндуктивности $M$ является метод вольтметра и амперметра.

Для измерения по этому методу собирается схема, изображенная на фиг. 35. В цепь катушки $L_1$ включают амперметр $A$ переменного тока, к зажимам *1* и *2* присоединяют источник переменного тока с известной частотой $f$, концы катушки $L_2$, индуктивно связанной с $L_1$, присоединяют к ламповому вольтметру $V$ и измеряют ток $I$, проходящий через катушку $L_1$, и напряжение $U$ на концах катушки $L_2$. Величина $M$ определяется по формуле

$$M = \frac{U}{6{,}28 \cdot f \cdot I},$$

где $M$ — величина взаимоиндуктивности, *гн*;
$U$ — напряжение на катушке $L_2$, *в*;
$I$ — ток через катушку $L_1$, *а*.




Фиг. 35. Схема измерения взаимоиндуктивности.

Источником переменного тока служит генератор звуковой частоты. Измерение производится на различных частотах (обычно на частоте 800—1 000 *гц*).

Взаимоиндуктивность можно измерить и следующим образом.

Сначала катушки $L_1$ и $L_2$ соединяются последовательно и одним из рассмотренных выше способов производится измерение индуктивности всей цепи. Затем путем переключения концов одной из катушек меняют направление ее витков или поворачивают ее на 180° и снова измеряют индуктивность. Результаты измерения позволяют вычислить величину $M$ по формуле

$$M = \frac{L' - L''}{4},$$

где $L'$ — большее значение измеренной индуктивности;
$L''$ — меньшее значение измеренной индуктивности.

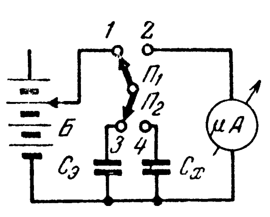
При таком способе измерения хорошие результаты получаются только при больших величинах взаимоиндуктив-

ности (при сильной связи), при слабой же связи точность измерения мала, так как разность между величинами $L_1$ и $L_2$ может оказаться незначительной.

## ИЗМЕРЕНИЕ ЕМКОСТИ КОНДЕНСАТОРОВ

Измерение емкости конденсаторов можно произвести методами, аналогичными методам измерения индуктивности катушек.

Для измерения по методу амперметра-вольтметра необходимо собрать цепь из последовательно соединенных измеряемого конденсатора и миллиамперметра переменного тока, а параллельно конденсатору подключить вольтметр. Источник тока должен обладать тем большей частотой, чем меньше измеряемая емкость. Измеряемая емкость вычисляется по формуле




Фиг. 36. Схема измерения емкости баллистическим методом.

$$C_x = \frac{I}{6{,}28 \cdot f \cdot U}.$$

Если ток $I$ измерен в амперах, напряжение $U$ — в вольтах и частота $f$ — в герцах, то емкость измеряется в фарадах.

Подобный метод пригоден для измерения только больших емкостей, так как величина тока в цепи обычно получается незначительной.

Другим способом измерения больших емкостей является баллистический метод. При измерении этим методом собирается схема (фиг. 36), состоящая из батареи *Б*, переключателей $П_1$ и $П_2$, микроамперметра $\mu A$ и набора конденсаторов известной емкости.

Сначала переключатель $П_2$ ставится в положение *4* и на батарее *Б*, подключенной переключателем $П_1$ (положение *1*), подбирают наименьшее напряжение (например, 2 *в*). Затем переключатель $П_1$ ставят в положение *2*, конденсатор разряжают на микроамперметр и замечают максимальное отклонение стрелки микроамперметра. Если это отклонение мало, то увеличивают напряжение, снимаемое с батареи, пока стрелка микроамперметра не будет отбрасываться почти на всю шкалу; величину максимального отклонения записывают. Далее, вместо конденсатора неизвестной емкости $C_x$ переключателем $П_2$ подключают эталонный конденсатор $C_э$. Оставляя напряжение

батареи неизменным, емкость $C_э$ регулируют таким образом, чтобы отклонение стрелки микроамперметра при разряде эталонного конденсатора на микроамперметр было равно отклонению при исследуемом конденсаторе $C_x$. Это означает, что емкость неизвестного конденсатора равна емкости эталонного конденсатора.

При резонансном методе измерений емкости схема и производство самих измерений остаются теми же, что и при измерении индуктивности. Разница заключается лишь в том, что вместо эталонной емкости берется эталонная индуктивность $L_э$ и величина измеряемой емкости

$$C_x = \frac{10^6}{39{,}5 \cdot f^2 \cdot L_э},$$

где $C_x$ — измеряемая емкость, *мкф*;
$L_э$ — эталонная индуктивность, *мкгн*;
$f$ — частота, *кгц*.

Этим способом обычно измеряются емкости от единиц до нескольких тысяч пикофарад.

Измерение малой емкости можно произвести методом замещения с помощью генератора, в котором применен градуированный конденсатор.

Колебательный контур генератора имеет градуированный конденсатор $C$. С генератором слабо связан волномер, настроенный с ним в резонанс. Если присоединить параллельно емкости $C$ измеряемую емкость $C_x$, то частота генерируемых колебаний изменится и волномер не будет в резонансе с генератором. Для восстановления резонанса необходимо уменьшить емкость переменного конденсатора генератора. Очевидно, если до присоединения $C_x$ емкость $C$ была равна $C_1$, а после — $C_2$, то

$$C_x = C_1 - C_2.$$

Измерение емкости и добротности конденсаторов с помощью куметра КВ-1 производится следующим образом.

К левым зажимам куметра подключают одну из эталонных катушек индуктивности (входит в комплект прибора) с таким расчетом, чтобы резонанс контура на данной частоте наступал примерно при максимальной емкости $C_1$ измерительного конденсатора.

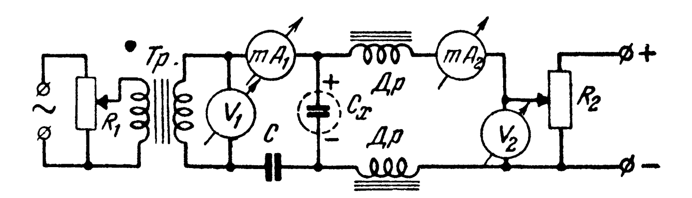
Отметив значение этой емкости, присоединяют к правым зажимам измеряемый конденсатор $C_x$ и снова путем уменьшения емкости измерительного конденсатора производят настройку контура в резонанс. Если емкость конденсатора при подстройке равна $C_2$, то емкость измеряемого конденсатора $C_x = C_1 - C_2$.

Для определения добротности измеряемого конденсатора необходимо при отсчете величин $C_1$ и $C_2$ произвести еще отсчет добротности по шкале $Q$.

Если $Q_1$ и $Q_2$ соответствуют величинам добротностей при положениях конденсатора $C_1$ и $C_2$, то

$$Q_C = \frac{(C_1 - C_2) \cdot Q_1 \cdot Q_2}{C_1 (Q_1 - Q_2)} = \frac{1}{\operatorname{tg} \varphi}.$$

Измерение емкости электролитических конденсаторов, вследствие того что их электроды имеют разную полярность, производить описанными методами (только на пере-




Фиг. 37. Схема для измерения емкости электролитических конденсаторов.

менном токе) нельзя. Поэтому такие измерения несколько отличаются от измерений емкости бумажных или слюдяных конденсаторов.

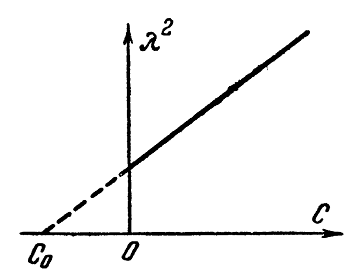
Так как в большинстве случаев оказывается достаточным определить емкость электрического конденсатора лишь приблизительно (с погрешностью до 10—20%), то можно пользоваться схемой (фиг. 37), питаемой постоянным и переменным ($f = 50$ *гц*) токами.

В этой схеме $C$ — набор бумажных конденсаторов возможно большей емкости (не менее 100 *мкф*), *Тр* — понижающий трансформатор, $R_1$ и $R_2$ — потенциометры, $V_1$ — вольтметр переменного тока, $C_x$—измеряемый конденсатор, *Др*—дроссели возможно большей индуктивности, $mA_1$ — миллиамперметр переменного тока, $mA_2$ — миллиамперметр постоянного тока и $V_2$ — вольтметр постоянного тока.

Перед включением в схему испытываемый конденсатор должен быть предварительно подформован. Это производится подачей на конденсатор постоянного напряжения, сперва небольшого (10% от номинального), а затем медленно (в течение 2—3 мин.) повышаемого до номинального рабочего напряжения. Под этим напряжением конденсатор выдерживают в течение 3—5 мин. и затем разряжают.

Определение емкости производится по методу амперметра-вольтметра. При этом напряжение переменной составляющей не должно превышать 5—10% номинального рабочего напряжения.

Данная схема позволяет одновременно с измерением емкости определить ток утечки (по прибору $mA_2$). Миллиамперметр $mA_1$ градуируют непосредственно в микрофарадах по бумажным конденсаторам.



Фиг. 38. График определения собственной емкости катушек.

Измерить емкость электролитического конденсатора можно также с помощью баллистического метода, но при этом необходимо иметь в виду, что электролитические конденсаторы, даже в совершенно разряженном состоянии, создают собственную э. д. с. (порядка 0,1 — 2 *в*). Поэтому при измерении емкости баллистическим методом нельзя брать напряжение батареи ниже 2 *в*. При напряжении батареи 2 *в* и выше ошибка в измерении емкости этим методом мала и не имеет существенного значения.

Собственную емкость катушки можно определить следующим образом.

Параллельно катушке присоединяют градуированный конденсатор переменной емкости, при разных положениях которого с помощью градуированного генератора высокой частоты измеряют длину волны контура. Затем вычерчивают график зависимости квадрата длины волны от емкости конденсатора (фиг. 38). Расстояние от точки $O$ до точки пересечения прямой с осью $C$ дает значение собственной емкости катушки $C_0$.

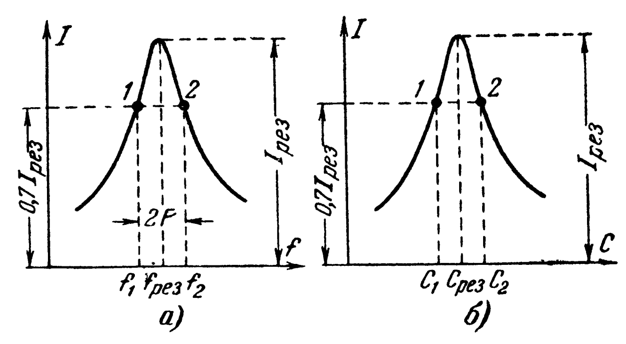
Собственную емкость катушки можно определить и не вычерчивая графика. Для этого нужно катушку

настроить в резонанс сначала с основной частотой, а затем со второй гармоникой генератора. Если полученные при этом емкости настроек обозначить соответственно через $C_1$ и $C_2$, то

$$C_0 = \frac{C_1 - 4C_2}{3}.$$

## ИЗМЕРЕНИЕ ДОБРОТНОСТИ КОНТУРОВ И КАТУШЕК

Добротность контура можно определить по его резонансной кривой, выражающей зависимость тока в контуре от частоты (фиг. 39, *а*).




Фиг. 39. Определение добротности контура.
*а* — по изменению частоты; *б* — по изменению емкости контура.

На уровне, равном $0{,}7 I_{рез}$ (или $U_{рез}$), проводят линию, параллельную оси частот, и из точек *1* и *2* пересечения ее с резонансной кривой опускают перпендикуляры. Пересечение их с осью частот дает значения частот $f_1$ и $f_2$. Если резонансная частота $f_{рез}$ известна, то добротность контура определяется по формуле

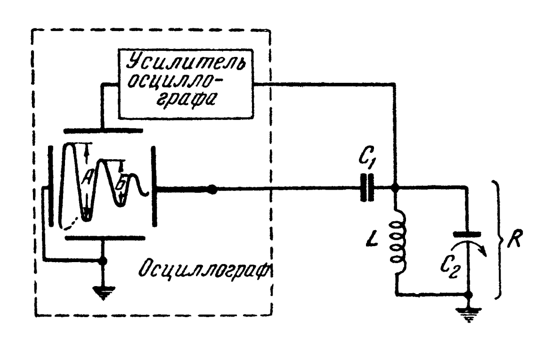
$$Q = \frac{f_{рез}}{f_2 - f_1}.$$

Добротность контура можно определить и по изменению его емкости (фиг. 39, *б*). В этом случае резонансная кривая снимается с помощью градуированного конденсатора. Далее поступают, как и в первом случае, и определяют соответствующие значения емкости конденсаторов контура $C_1$ и $C_2$. Добротность при этом находят по формуле

$$Q = \frac{2C_{рез}}{C_2 - C_1}.$$

Так как добротность контура при современном высоком качестве конденсаторов определяется добротностью катушки, то без больших погрешностей можно допустить, что измеренная добротность контура равна добротности катушки.

Добротность катушек можно определить также с помощью осциллографа. Для этого к измеряемой катушке присоединяют конденсатор и, таким образом, образуется колебательный контур, собственная частота которого выбирается равной частоте, на которой должна быть определена добротность катушки.




Фиг. 40. Схема измерения добротности катушек с помощью осциллографа.

При импульсном возбуждении контура возникшие в нем колебания с каждым последующим периодом будут становиться все меньше и меньше, т. е. будут затухать. При этом отношение амплитуд тока или напряжения двух соседних колебаний будет иметь постоянную величину. Натуральный логарифм этого отношения называется логарифмическим декрементом затухания $d$ и является обратно пропорциональным добротности $Q$, так как $Q = \frac{\pi}{d}$. Измерив величины $A$ и $Б$, пропорциональные амплитудам двух соседних колебаний (фиг. 40), можно определить добротность катушки по формуле

$$Q = \frac{0,43\pi}{\lg \frac{A}{Б}} = \frac{1,36}{\lg \frac{A}{Б}}.$$

Необходимый острый импульс напряжения для возбуждения колебаний в контуре $LC_2$, можно получить

непосредственно от схемы развертки осциллографа с помощью дифференцирующей цепи $RC_1$. Схема такого устройства показана на той же фиг. 40. Здесь $R$ представляет собой эквивалентное сопротивление контура $LC_2$, а $C_1$ — конденсатор связи, включенный в цепь, наиболее удобную для снятия горизонтально развертывающего напряжения. Величина емкости $C_1$ должна составлять приблизительно 0,5% от емкости $C_2$. Величина же емкости $C_2$ определяется индуктивностью измеряемой катушки и частотой, на которой производится измерение.

Основной недостаток рассмотренного способа, несмотря на его простоту, заключается в том, что он не может быть использован на высоких частотах. Предел его ограничивается входной емкостью усилителя и частотой развертки.

При измерении больших значений $Q$ (когда соседние пики разнятся между собой незначительно) можно рекомендовать использование ряда последовательных колебаний. Тогда величина $Q$, определенная по приведенной выше формуле, должна быть умножена на число отсчитанных циклов. Так, если измерения были сделаны на втором и шестом циклах, то величина, найденная по формуле, должна быть умножена на 4.

Другой недостаток данного метода измерений заключается в том, что он относительно менее точен (например, по сравнению с измерениями куметром). Однако, учитывая его простоту, он может широко применяться для измерения и сравнения добротностей нескольких различных катушек.

## ИЗМЕРЕНИЕ АКТИВНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ КОНТУРА

Выше, при рассмотрении добротности катушек, мы часто употребляли термин «активное сопротивление». Следует иметь в виду, что под активным сопротивлением понимается полное сопротивление потерь на данной частоте. Это сопротивление может быть значительно бо́льшим, чем сопротивление, измеренное на постоянном токе. Оно увеличивается за счет поверхностного эффекта, диэлектрических потерь и потерь на вихревые токи. Измерение его производится различными методами, из которых мы рассмотрим наиболее простой — метод вариации.

Этот метод определения активного сопротивления колебательного контура посредством изменения (вариации) величины его сопротивления основан на том, что ток в коле-

бательном контуре при резонансе равен подведенному к нему напряжению, деленному на активное сопротивление контура.

Если в контур включить известное сопротивление, это вызовет при неизменном входном напряжении совершенно определенное изменение тока в контуре. Это изменение позволит судить о величине существующего собственного сопротивления.

Схема, позволяющая выполнять подобные измерения, достаточно проста. Испытываемый контур, в цепь которого последовательно включен термомиллиамперметр, слабо связывается с генератором. Контур настраивают в резонанс с генератором и отмечают по миллиамперметру величину тока $I_1$. После этого в контур вводят известное добавочное сопротивление $R$, снова настраивают контур в резонанс и, не изменяя связи с генератором, отмечают новое показание $I_2$ миллиамперметра. Тогда величина последовательного активного сопротивления контура определится по формуле

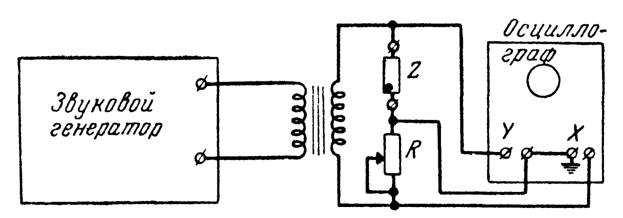
$$r_x = R \cdot \frac{I_2}{I_1 - I_2}.$$

Так как определенное таким путем сопротивление контура включает в себя и сопротивление термопары, то последнее следует вычесть из полученной величины.

Схема измерения может быть видоизменена, если в качестве индикатора применить ламповый вольтметр, присоединяемый параллельно конденсатору $C$ контура. Процесс измерения при схеме с ламповым вольметром остается тем же, но в формулу вместо значений $I_1$ и $I_2$ подставляются величины соответствующих напряжений $U_1$ и $U_2$. Для получения более точных результатов измерения ламповый вольтметр должен иметь достаточно большое входное сопротивление.

Для получения по методу вариации точных результатов необходимо следить за тем, чтобы ток в катушке связи генератора оставался во время измерений неизменным и чтобы между генератором и испытываемым контуром существовала только индуктивная связь. Это лучше всего достигается при очень слабой связи между контурами или установке между ними электростатического экрана. Для проверки результатов желательно повторять измерения при нескольких различных значениях добавляемого в контур сопротивления.

Во избежание влияний паразитных емкостей (относительно земли), искажающих результат, необходимо одну сторону конденсатора заземлять, а миллиамперметр и добавочное сопротивление включать у заземленной части контура. Добавочное сопротивление должно обладать очень малым поверхностным эффектом и достаточно хорошей фазовой характеристикой. В качестве такового надо применять или высокочастотный декадный магазин сопротивлений, или тонкий короткий отрезок провода большого удельного сопротивления.




Фиг. 41. Схема измерения полного сопротивления низкочастотных катушек с помощью осциллографа.

Другим видом метода вариации является схема, в которой сопротивление $R$ включено параллельно контуру. В этом случае напряжение $U$ на контуре измеряется до и после включения сопротивления $R$. Если при первом измерении было получено напряжение $U_1$, а при втором $U_2$, то сопротивление контура подсчитывается по формуле

$$r_x = \frac{L}{\left(\frac{U_1}{U_2} - 1\right) \cdot R \cdot C},$$

где $r_x$ — активное сопротивление, *ом*;
$L$ — индуктивность катушки, *мкгн*;
$U_1$ и $U_2$ — напряжения, *в*;
$C$ — емкость контура, *пф*;
$R$ — сопротивление, *ом*.

При измерении активного сопротивления длинноволновых катушек сопротивление следует брать порядка 0,1 *мгом*, а средневолновых — 40 ÷ 50 *ком*.

Для измерения полного сопротивления $Z$ низкочастотных катушек (например, звуковой катушки громкоговорителя, согласующих трансформаторов и т. д.) можно рекомендовать схему измерения при помощи осциллографа (фиг. 41).

Измерение производится следующим образом.

Сначала для регулировки схемы измеряемая индуктивность заменяется известным безиндукционным сопротивлением, величина которого примерно равна предполагаемой величине сопротивления $Z$. Переменное сопротивление $R$ (лучше применить декадное сопротивление) должно быть примерно равно сопротивлению, заменяющему индуктивность.

Если оба усилителя осциллографа имеют одинаковый фазовый сдвиг, то на экране будет получено изображение прямой, наклоненной под углом 45° к горизонтали. Оба усилителя регулируются таким образом, чтобы отклонения по горизонтали и вертикали были одинаковы.

После этой предварительной операции производится собственно измерение. Звуковой генератор настраивается на желаемую частоту, и вспомогательное сопротивление снова заменяется индуктивностью. Теперь сопротивление $R$ регулируется таким образом, чтобы полученная фигура (эллипс) имела одинаковые амплитуды по вертикальной и горизонтальной осям. Установленное значение $R$ равно искомому полному сопротивлению $Z$.

## ГЛАВА ЧЕТВЕРТАЯ

# ИЗМЕРЕНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ СХЕМЫ

Измерение режимов (напряжений или токов) производится обычно при ремонте или испытании.

Для измерения напряжений чаще всего используют вольтметры постоянного и переменного тока с внутренним сопротивлением 5—10 *ком/в* или ламповые вольтметры с большим внутренним сопротивлением.

Желательно, чтобы сопротивление стрелочного прибора было по возможности наибольшим. Поэтому измерения такими приборами рекомендуется производить на шкалах с большим пределом измерений. Правда, это несколько затрудняет отсчет измеряемого напряжения, но зато прибор меньше влияет на режим, и потому общая точность измерения может быть более высокой.

Очень удобны для измерений многошкальные универсальные приборы, сочетающие в себе вольтметр постоянного и переменного тока, миллиамперметр, омметр, измеритель выходной мощности и в некоторых случаях мост для измерения емкости.

В цепях радиотехнических устройств, помимо постоянной составляющей напряжения или тока, имеется еще переменная составляющая (низкочастотная или высокочастотная). При измерении постоянных составляющих (измерение режимов питания, напряжений источников питания и т. п.) приборы постоянного тока следует включать в такие точки, где переменная составляющая отсутствует или устранена посредством блокировки, развязки или какой-либо другой схемы, а при измерении переменных токов нужно исключить постоянную составляющую с помощью разделительного конденсатора или трансформатора.

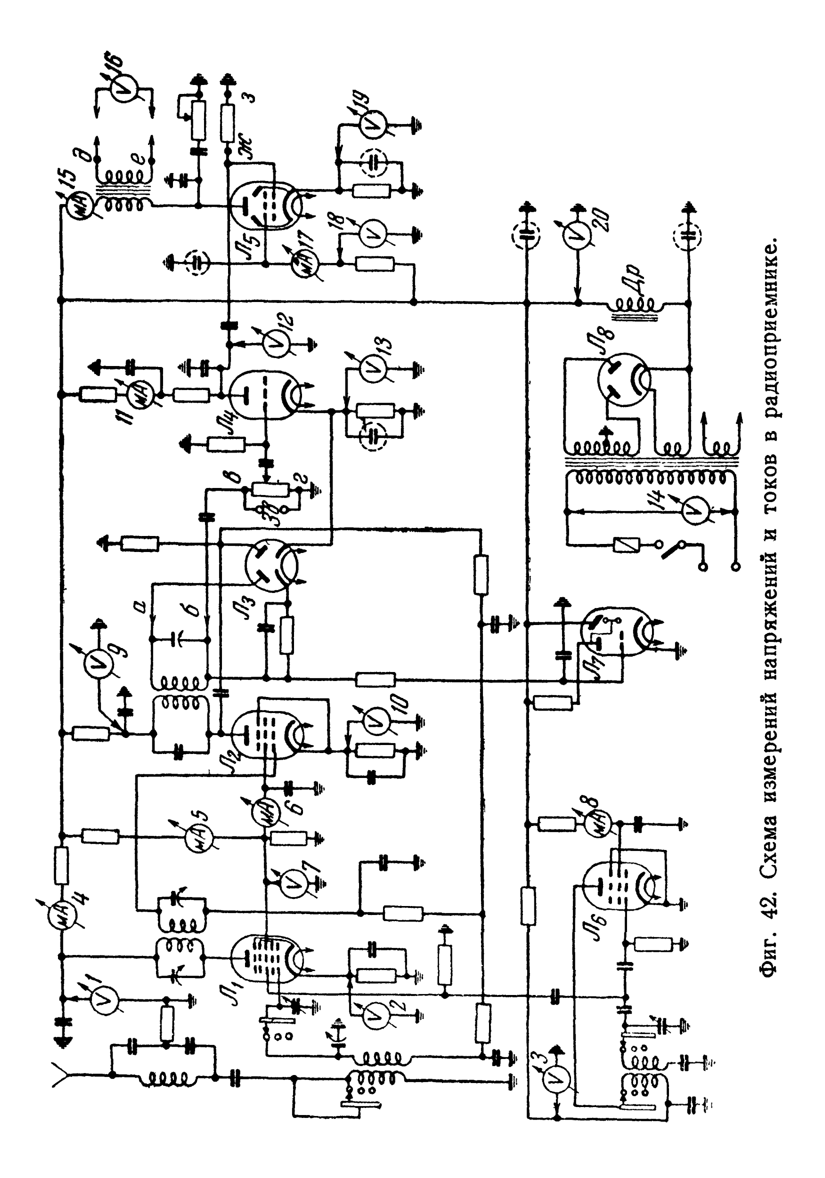
При измерениях потенциальный зажим прибора всегда следует присоединять к той точке измеряемого участка, которая имеет более высокий потенциал, а другой зажим прибора — к точке, имеющей более низкий потенциал относительно корпуса или «земли».

Для наглядности излагаемых далее положений рассмотрим для примера различные измерения режимов на конкретной схеме супергетеродинного приемника (фиг. 42).

Приступая к испытанию приемника с питанием от сети переменного тока, надо прежде измерить напряжение, поступающее на первичную обмотку силового трансформатора. Вольтметр *14* указывает величину этого напряжения. Затем при нормально нагруженном приемнике вольтметром *20* измеряется постоянное напряжение на выходе выпрямителя. Эти измерения убеждают в том, что выпрямитель дает требуемое напряжение, а значительная утечка тока отсутствует (при условии, если суммарный ток утечки не превышает на 5—10 *ма* расчетную величину). Оба эти измерения можно произвести как высокоомным, так и низкоомным вольтметром.

Проверяя режим ламп, необходимо сначала измерить напряжения смещений на управляющих сетках, так как работа ламп в значительной степени зависит от правильности подбора этих напряжений. Такие измерения удобнее производить не на участках сетка — катод, а на сопротивлениях в цепи катодов (вольтметры *2*, *10*, *13* и *19*). В этом случае измерения можно производить прибором, имеющим на соответствующей шкале внутреннее сопротивление в 10—15 раз большее, чем сопротивление участка, на котором производится измерение.

Измерения режимов нужно производить в условиях, соответствующих нормальной работе (при нормальном на-




Фиг. 42. Схема измерений напряжений и токов в радиоприемнике.

пряжении источников питания, генерации гетеродина, отсутствии паразитных связей и т. д.).

Измерение напряжений на экранных сетках ламп может быть произведено различным образом в зависимости от схемы. Если напряжение на экранную сетку подается

с делителя (лампы $Л_1$ и $Л_2$), то его можно измерить вольтметром *7* с сопротивлением 5—10 *ком/в*. Если же напряжение на сетку подается через гасящее сопротивление большой величины (лампа $Л_6$), то нужно применить более высокоомный вольтметр или измерить миллиамперметром *8* ток экранной сетки и вычислить затем напряжение на ней, которое равно разности между напряжением источника тока (выпрямителя) и падением напряжения на гасящем сопротивлении.

Измерения напряжений на анодах ламп производятся аналогичным образом (вольтметры *1*, *3* и *9*).

Как правило, все измерения напряжений производятся относительно шасси («земли») приемника так, как это показано на схеме фиг. 42. При этом следует иметь в виду, что измеренные напряжения будут выше действительных на величину, равную падению напряжения на катодном (смещающем) сопротивлении. За исключением оконечных ламп, эта разница незначительна, так как анодное напряжение обычно равно 150—250 *в*, а катодное напряжение редко превышает 0,5—3 *в*.

Для оконечных ламп напряжение сеточного смещения бывает значительным, и это приходится учитывать. Так, например, если на аноде оконечной лампы напряжение, измеренное относительно «земли», оказалось равным 260 *в*, а напряжение смещения, полученное за счет падения напряжения на сопротивлении в цепи катода, равно 16 *в*, то истинная величина напряжения на аноде будет 260 — 16 = = 244 *в*.

То же самое можно сказать и о лампе с переменной крутизной, катодное сопротивление которой используется для ручной регулировки громкости. В этом случае результаты измерений напряжений на аноде и экранной сетке относительно «земли» будут очень сильно зависеть от положения регулятора громкости, и если не учесть приведенных выше замечаний, то в положении регулятора на минимальной громкости ошибка в измерениях напряжений может быть значительной.

При измерении тока миллиамперметр по возможности следует включать между развязывающим сопротивлением и источником напряжения (на фиг. 42, например, миллиамперметр *11*), так как присоединение проводов прибора непосредственно к аноду или экранной сетке может повлечь за собой возникновение паразитной генерации, что в свою очередь вызовет значительное изменение режима схемы.

При проверке напряжений и токов в любом месте приемника, в особенности при исследовании каскадов, предшествующих детектору, регулятор громкости должен быть установлен на максимум (исключение составляет регулятор громкости по низкой частоте) и приемник не должен быть настроен на какую-либо станцию. Без соблюдения этого условия многие показания приборов будут неточными и результаты получатся ошибочными. Так, в частности, если приемник будет настроен на частоту принимаемой радиостанции, то автоматический регулятор громкости может увеличить напряжение смещения на сетках некоторых ламп, уменьшив этим самым анодные и экранные токи и, следовательно, изменив номинальные режимы этих ламп.

При проверке цепей и деталей схемы приемника омметром приемник следует отключить от источников питания. При работе с омметром нужно прежде всего убедиться в том, что к измеряемой цепи не присоединена никакая другая цепь и, если это необходимо, сделать соответствующие отпайки.

Измерения величин переменных токов и напряжений аналогичны измерениям постоянных токов и напряжений. Входное сопротивление вольтметра также должно быть не менее 10—20-кратной величины сопротивления участка цепи, на котором производятся измерения.

В том случае, когда измерительный прибор имеет значительную емкость, включение его в цепь должно быть по возможности компенсировано уменьшением емкости цепи на такую же величину. Так, например, если необходимо измерить напряжение, поступающее на детекторный каскад (точки *а* и *б*), то во избежание расстройки контура емкость подстроечного конденсатора необходимо уменьшить настолько, чтобы контур снова был настроен в резонанс.

Измерение напряжения звуковой частоты, например поступающего на управляющую сетку лампы того или иного низкочастотного каскада (точки *в* и *г* или *ж* и *з*), может производиться без учета входной емкости вольтметра. В этом случае вольтметр должен удовлетворять лишь условию наличия большого входного сопротивления (в 10—20 раз превышающего сопротивление нагрузки детектора или анодной нагрузки лампы каскада предварительного усиления). Измерение напряжения на звуковой катушке динамического громкоговорителя (в точках *д* и *е*) может быть произведено любым вольтметром переменного тока, так как сопро-

тивление нагрузки трансформатора исчисляется единицами ом.

Для измерения напряжений переменного тока иногда вместо вольтметра удобно применить осциллограф, с помощью которого одновременно «просматривается» и форма колебаний. При измерении напряжения переменного тока, приложенного к одной паре отклоняющих пластин, на экране появляется прямая линия, длина которой пропорциональна удвоенной амплитуде измеряемого напряжения. Если измерить всю длину прямой линии (в миллиметрах) и половину ее разделить на чувствительность осциллографа по отклонению (*мм/в*), то получится амплитудное значение переменного напряжения в вольтах.

Если измеряемое переменное напряжение мало, то его предварительно усиливают с помощью усилителя осциллографа. В этом случае для определения напряжения половина длины черты делится на величину чувствительности осциллографа с усилителем.

Градуировка такого «вольтметра» может быть выполнена подачей на отклоняющие пластины напряжения любой удобной частоты. Она не будет зависеть от частоты до тех пор, пока частота не станет настолько высокой, что время, необходимое электронам для пролета отклоняющих пластин, не будет сравнимо с периодом колебаний подводимой частоты (что наблюдается при частоте порядка 100 *мггц*). При работе с усилителем верхняя частотная граница будет определяться частотной характеристикой усилителя.

## ГЛАВА ПЯТАЯ

# ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ РАДИОПРИЕМНИКОВ

Изготовив приемник, радиолюбитель должен оценить его качество. Для этого существуют два метода: субъективный — путем прослушивания, и объективный — путем испытаний с помощью приборов, дающих количественную оценку измеряемых параметров.

Совершенно очевидно, что суждение о качестве приемника только посредством прослушивания является лишь предварительным и далеко не полным. Подобный метод может лишь направлять до некоторой степени объективные испытания. Так, например, если построенный приемник воспроизводит передачу с подчеркиваниями каких-либо частот, то слушатель не всегда может определить, насколько верно

воспроизведение и в каком участке схемы возникают искажения. Правильный ответ на это можно получить только после испытания соответствующими приборами.

В этой главе мы остановимся на способах снятия характеристик и в нескольких случаях приведем описания простых приставок, облегчающих процесс этих измерений.

## ИЗМЕРЕНИЕ НЕЛИНЕЙНЫХ ИСКАЖЕНИЙ

Определение величины нелинейных искажений бывает необходимо при испытаниях почти всех радиотехнических аппаратов (усилителей, приемников, передатчиков и т. д.).

Как известно, такого рода искажения характеризуются коэффициентом нелинейных искажений $K$ и математически выражаются следующим соотношением:

$$K = \frac{\sqrt{U_2^2 + U_3^2 + U_4^2 + \ldots}}{U_1} \cdot 100\%,$$

где $U_1$ — амплитуда напряжения сигнала основной частоты;

$U_2$, $U_3$, ... — амплитуды второй, третьей и т. д. гармоник.

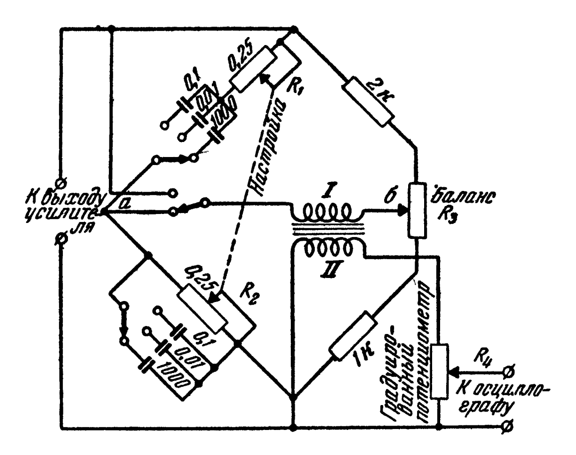
Чем меньше коэффициент нелинейных искажений, тем лучше то или другое устройство. Коэффициент нелинейных искажений для радиовещательных приемников характеризуется величинами, приведенными в табл. 5.

*Таблица 5*

| Частота | Коэффициент нелинейных искажений приемников, % (не более) | | | |
|---|---|---|---|---|
| | I класс | II класс | III класс | IV класс |
| До 100 *гц* | 12 | 15 | 15 | Оговаривается особо |
| 100 ÷ 200 *гц* | 7 | 10 | 15 | |
| 200 ÷ 400 *гц* | 7 | 7 | 12 | |
| Выше 400 *гц* | 5 | 7 | 10 | |

Для измерения величин коэффициента $K$ существуют специальные измерители нелинейных искажений, работающие в большинстве случаев на принципе уравновешенного моста и позволяющие измерять на выходе измеряемого устройства отношение суммарной величины всех высших гармоник к величине основной частоты исследуемого колебания при подаче на вход чисто синусоидального напряжения.

До 1941 г. выпускались измерители нелинейных искажений типов КМ-2, КМ-3 и ФКН. В настоящее время выпускается новый измеритель нелинейных искажений типа ИНИ-10. Однако все эти приборы широкого распространения пока не имеют, и потому мы приводим схему несложной приставки, с помощью которой можно достаточно просто измерить величину нелинейных искажений. Приставка обеспечивает возможность измерения коэффициента нелинейных искажений от 0,3% при точности измерений 5%.




Фиг. 43. Схема упрощенного измерителя нелинейных искажений.

Приставка (фиг. 43) работает на принципе моста и включается на низкоомный выход приемника или усилителя. При измерениях мост настраивается на основную частоту колебаний, подаваемых на вход исследуемого устройства, по возможности свободных от искажений. Вследствие подавления сигнала основной частоты на диагонали моста (точки *а* и *б*) будет лишь напряжение высших гармонических составляющих, появившихся в результате нелинейности амплитудной характеристики исследуемого устройства. Эти гармоники через трансформатор и калиброванный потенциометр $R_4$ подаются на вертикальные пластины осциллографа, и по вертикальному отклонению луча судят об относительной амплитуде гармоник.

Практически измерение производится следующим образом. Регулируя сдвоенный потенциометр настройки $R_1R_2$ на основную частоту при выведенном потенциометре $R_4$ (верх-

нее положение), устанавливают (по экрану осциллографа) минимум вертикальной амплитуды. После этого подстройкой потенциометра $R_3$ производится окончательное уравновешивание до получения наименьшей амплитуды, которая и отмечается как величина гармоник. Затем первичная обмотка трансформатора переключается непосредственно на выход исследуемого устройства (верхнее положение) и потенциометр $R_4$ устанавливают так, чтобы на экране получилось отклонение, равное по величине полученному ранее. Если потенциометр проградуирован в децибелах или процентах, то положение движка потенциометра покажет непосредственно величину искажений.

Регулятор тембра в приемнике или усилителе при измерении нелинейных искажений должен быть установлен в положение пропускания наиболее широкой полосы частот, с тем чтобы высшие гармонические составляющие, образующиеся в усилителе, не были уменьшены.

Контроль качества работы низкочастотного усилителя или низкочастотных каскадов приемника можно производить с помощью осциллографа, подключая его поочередно ко входу и выходу проверяемого устройства.

При измерениях на вход усилителя подается синусоидальное напряжение с частотой 400—600 *гц*. Если форма кривой на выходе усилителя точно соответствует форме кривой сигнала на его входе, то можно считать, что искажения отсутствуют или они настолько малы, что ими можно пренебречь. Подобное сравнение обоих сигналов (входного и выходного) особенно удобно производить одновременно, если воспользоваться электронным коммутатором (например, типа ЭК-1), подавая входной сигнал на вход *I*, а выходной на вход *II* коммутатора [1].

Если усилитель имеет большой уровень фона, то вершины сигнала исказятся (раздвоятся или размножатся), а весь сигнал будет промодулирован частотой 50 *гц* (фиг. 44,*а* и *б*). Для определения источника фона нужно проверить качество фильтрации выпрямителя. Это можно сделать с помощью того же осциллографа, если «просмотреть» форму напряжения на выходе выпрямителя.

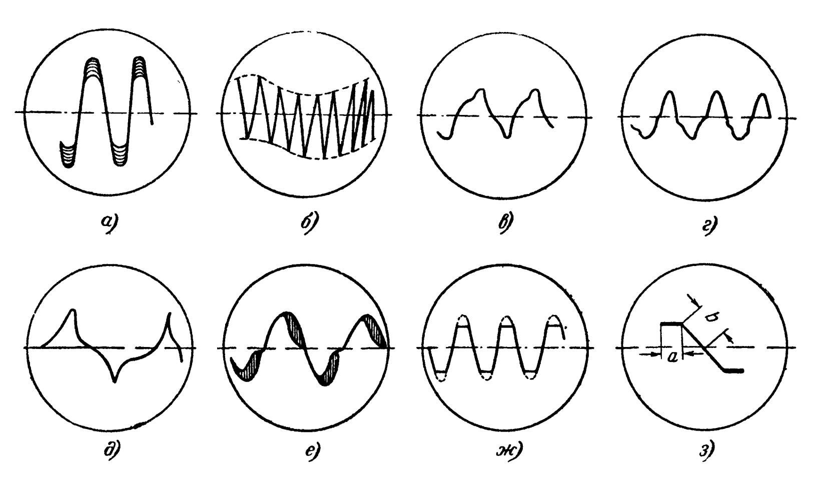
При наличии в анодном напряжении переменной составляющей на экране осциллографа будет видна искаженная кривая, величина и форма которой зависят от качества

---

[1] Описание самодельного электронного коммутатора помещено в „Радио“, 1949, № 11.

фильтра. В случае, если переменная составляющая на выходе выпрямителя мала (на осциллографе будет видна почти правильная прямая), а на выходе усилителя наблюдаются характерные раздвоения вершин, причиной появления фона является электромагнитная индукция, вызванная неаккуратным монтажем, плохой экранировкой и неправильным размещением трансформаторов и дросселей.

В процессе настройки следует иметь в виду, что усилители, работающие в классе A, дают несколько повышенный фон в момент отсутствия сигнала на входе, а усилители, работающие в классе $AB_2$, — во время передачи звука.




Фиг. 44. Формы нелинейных искажений.

Если на экране осциллографа вместо синусоидального напряжения будут видны искривленные кривые напряжения (фиг. 44,*в*), то это — искажения, обычно вызывающиеся перенасыщением сердечника промежуточного или выходного трансформатора.

На фиг. 44,*г* показан случай искажения, часто встречающийся в двухтактных схемах, когда даже при самых малых напряжениях на выходе коэффициент нелинейных искажений достигает 7—10% и с возрастанием напряжения резко повышается. Причина такого искажения заключается в том, что величина и форма одной полуволны не соответствуют величине и форме другой. Это обусловливается обычно резкой асимметрией одного из плеч усилителя из-за потери эмиссии одной из ламп, асимметрией обмоток

трансформатора или выходом из строя одного из сопротивлений нагрузки фазоинвертора. Подобная асимметрия может быть легко обнаружена, если тем же осциллографом измерить напряжение на управляющих сетках выходных ламп.

В усилителях с емкостной связью большие искажения формы сигнала (фиг. 44,*д*) могут появиться, если конденсатор связи и сопротивление утечки имеют малую постоянную времени. Для устранения такого искажения нужно увеличить емкость конденсатора связи. Измерения при этом следует производить при наиболее низкой для данного усилителя воспроизводимой частоте (40—60 *гц*).

Нередко искажения вызываются наличием генерации, которую можно обнаружить либо при отсутствии сигнала, если генерация постоянна, либо «просматривая» форму напряжения усиливаемого сигнала, если генерация возникает только при наличии сигнала. В последнем случае на синусоиду будут наложены различного рода колебания (фиг. 44,*е*). Способы борьбы с возникающей генерацией обычные (экранировка, развязывание цепей питания, увеличение емкости на выходе фильтра и т. д.).

При наличии в усилителе искажений за счет перевозбуждения (при большом уровне сигнала) вершины сигнала могут быть срезаны (фиг. 44,*ж*). Для устранения таких искажений необходимо уменьшить напряжение возбуждения.

Иногда срезание вершин сигнала происходит только с одной стороны. Это обычно бывает тогда, когда рабочая точка характеристики лампы в усилителе класса А выбрана не на середине прямолинейного участка. В этом случае увеличением или уменьшением напряжения смещения удается либо совершенно устранить искажения, либо срезание вершин сигнала сделать симметричным. Для устранения же симметричных срезов, как указывалось, нужно уменьшить входное напряжение, так как подобные искажения могут быть только при перевозбуждении.

Кривые с симметричными срезами можно использовать для правильного выбора рабочей точки на характеристике лампы. Подав на управляющую сетку лампы заведомо большое напряжение сигнала, изменением напряжения смещения искаженную (срезанную) форму колебаний приводят к виду, подобному фиг. 44,*ж*. Напряжение смещения, при котором срезы положительной и отрицательной полуволн будут одинаковы, соответствует середине прямолинейного участка характеристики лампы.

Искажения при перевозбуждении могут быть оценены с помощью осциллографа не только качественно, но и количественно. Для этого сигнал исследуемой формы нужно подать не только на пластины вертикального, но и горизонтального отклонения, замкнув накоротко входные потенциальные зажимы и поставив переключатель развертки в положение «Внешн. развертка». На полученной фигуре (фиг. 44,*з*) измеряют длины искаженных и неискаженных участков и по формуле

$$K = \frac{a}{a + 2b} \cdot 100\%$$

находят величину коэффициента нелинейных искажений. В этой формуле: $a$ — размер искаженного участка в миллиметрах или сантиметрах; $b$ — размер неискаженного участка в тех же единицах.

Хотя этот метод и не отличается большой точностью, но он с успехом может быть применен в любительской и эксплуатационной практике.

## ИЗМЕРЕНИЕ ВЫХОДНОЙ МОЩНОСТИ

Выходная мощность приемника выражается через номинальную мощность, которая численно равна наибольшей мощности на выходе, получаемой при заданной величине коэффициента нелинейных искажений, если на вход подано чисто синусоидальное напряжение. Определение номинальной мощности производится на одной средней частоте — 400 *гц*.

Для определения номинальной мощности при заданном коэффициенте нелинейных искажений снимается амплитудная характеристика усилителя, представляющая собой зависимость этого коэффициента от амплитуды входного напряжения. Для этого, постепенно увеличивая входное (синусоидальное) напряжение для каждого значения $U_{вх}$, определяют на выходе усилителя приемника напряжение $U_1$ основной частоты и суммарное напряжение высших гармоник $\sqrt{U_2^2 + U_3^2 + U_4^2 + \ldots}$ Отсюда для каждого $U_{вх}$ можно определить коэффициент нелинейных искажений $K$ и соответствующую ему выходную мощность $P = \frac{U_{вых}^2}{R_н}$, где $U_{вых}$ — выходное напряжение и $R_н$ — сопротивление нагрузки.

Измерения производятся, как указывалось выше, с помощью измерителя нелинейных искажений. После этого вычерчивается график, причем по вертикальной оси откладывается величина нелинейных искажений при соответствующей мощности, а по горизонтальной — амплитуда входного напряжения. Полученная кривая позволяет определить момент резкого возрастания процента искажений, который и определяет максимальную неискаженную мощность.

Еще удобнее (но с меньшей точностью) максимальную выходную мощность определять с помощью «градуированного» осциллографа, включаемого на выход усилителя. В этом случае едва заметное искажение синусоидального сигнала на выходе, соответствующее $K = 4 \div 6\%$ на частоте $400 \div 1\,000$ *гц*, может служить мерой для фиксирования максимальной мощности, развиваемой на нагрузке.

Величина мощности может быть определена по формуле

$$P = \frac{U^2}{8R_н},$$

где $U$ — напряжение, соответствующее полной высоте изображения.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА УСИЛЕНИЯ

При испытаниях усилителя необходимо знать коэффициент его усиления.

Различают три вида усиления: по напряжению, току и мощности. Практически чаще всего приходится определять коэффициент усиления по напряжению (усиление по току или мощности при известном нагрузочном сопротивлении может быть определено пересчетом).

Рассмотрим сначала определение коэффициента усиления усилителя напряжений низкочастотных колебаний.

При общем испытании усилителя на его вход подают от звукового генератора напряжение $U_{вх}$ (точно известной величины) и вольтметром, внутреннее сопротивление которого не менее чем в 10 раз больше нагрузочного сопротивления усилителя, измеряют напряжение $U_{вых}$ на его выходе. Тогда общий коэффициент усиления будет равен отношению величины выходного напряжения к величине входного напряжения, т. е. $K = \frac{U_{вых}}{U_{вх}}$.

Если усилитель испытывается по каскадам, то общий коэффициент усиления $K$ будет равен произведению коэффициентов усиления каждого каскада.

Так как коэффициент усиления в общем случае зависит от частоты входного напряжения, то определение коэффициента усиления нужно производить на средней частоте полосы пропускания усилителя. При этом входное напряжение не должно превышать максимального значения, при котором начинается ограничение амплитуды (искажение формы) выходного напряжения. Определить это можно либо с помощью вольтметра, отмечая момент, когда увеличение напряжения на выходе становится непропорциональным увеличению входного напряжения, либо с помощью электронного осциллографа, включенного на выходе усилителя. Во втором случае максимальное значение входного синусоидального напряжения определяется моментом, когда при некотором дальнейшем его увеличении форма выходного напряжения начинает искажаться. Обычно искажение синусоиды замечается, когда величина нелинейных искажений достигает 4—5%.

Для того чтобы знать коэффициент усиления на любой частоте полосы пропускания усилителя, надо снять его частотную характеристику, о чем будет сказано ниже.

Определение коэффициента усиления *резонансного* усилителя, а также *широкополосных* усилителей в общем производится методом, подобным упомянутому, т. е. на вход усилителя подается (от генератора стандартных сигналов) калиброванное напряжение и ламповым вольтметром, присоединенным к выходу, измеряется усиленное напряжение.

При включении вольтметра надо следить за тем, чтобы избежать расстройки контура, которая может быть вызвана входной емкостью вольтметра и емкостью соединительных проводов, а также добавочными потерями, вносимыми в контур ламповым вольтметром. Вводимая в контур емкость может быть компенсирована уменьшением на такую же величину емкости конденсатора контура, а добавочных потерь не будет, если применять вольтметры с большим входным сопротивлением.

Во избежание обратной связи вольтметр и идущие к нему провода должны быть экранированы.

Как и при измерении коэффициента усиления низкочастотных усилителей, необходимо следить, чтобы амплитуда входного сигнала не превышала максимального уровня. Для резонансного высокочастотного усилителя определение

коэффициента усиления производится на резонансной частоте, а для широкополосного усилителя — на некоторой средней частоте.

С целью повышения точности измерений необходимо по возможности более точно выверить измеритель выхода генератора, устранить «пролезание» сигнала, помимо выходных зажимов генератора, и, наконец, проверить точность вольтметра, включенного на выходе усилителя.

Проверка наличия влияния магнитного и электрического полей генератора на усилитель производится при отключенном от усилителя генераторе. Считать, что генератор не влияет на усилитель, можно тогда, когда на выходе усилителя не будет никакого напряжения, даже если генератор поднести к усилителю много ближе, чем при нормальной работе.

Так как погрешность измерения лампового вольтметра типа ВКС-7 равна $\pm 3\%$, а точность отсчета выходного напряжения приборов ЗГ-2 и ГСС-6 — порядка $\pm 5\%$, то возможная ошибка только за счет применения этих измерительных приборов может достигать 6—8%. Практически же погрешность измерения коэффициента усиления получается порядка 10—20%. Но так как в большинстве случаев важна не абсолютная величина коэффициента усиления, а величина относительного его изменения (в зависимости от частоты, амплитуды), то точность измерения может доходить до 2—3%.

## ИЗМЕРЕНИЕ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ПРИЕМНИКА

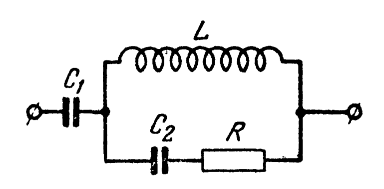
Из рассмотренного нами способа определения коэффициента усиления вытекает метод определения чувствительности радиоприемных устройств, так как способность радиоприемника принимать слабые сигналы определяется величиной усиления, обеспечиваемого схемой приемника.

Согласно ГОСТ 5882-51 на радиоприемники чувствительность приемника бывает трех видов: чувствительность со входа, чувствительность приемника с гнезд звукоснимателя и чувствительность приемника при работе от собственной антенны-рамки.

Под чувствительностью приемника со входа понимается напряжение в микровольтах, которое нужно подвести ко входу приемника для того, чтобы получить на его выходе нормальную для данного приемника мощность. Нормальная выходная мощность составляет десятую часть от

номинальной мощности. Последняя же представляет собой наибольшую выходную мощность, которая может быть получена на выходе приемника при условии, что коэффициент нелинейных искажений не превышает заданной величины (10% для приемников IV и III классов и 5—7% для приемников I и II классов).

Для измерения чувствительности приемника его зажимы «Антенна» и «Земля» соединяют с соответствующими выходными зажимами генератора стандартных сигналов. Между зажимом «Антенна» и зажимом генератора должен быть включен эквивалент антенны (фиг. 45), состоящий из емкостей $C_1 = 200$ *пф* и $C_2 = 400$ *пф*, индуктивности $L = 20$ *мкгн* и сопротивления $R = 400$ *ом*. При отсутствии такого эквивалента его можно заменить на длинных и средних волнах конденсатором емкостью 200 *пф*, а на коротких волнах — сопротивлением 300 *ом*. К выходу приемника параллельно звуковой катушке громкоговорителя подключается купроксный или ламповый вольтметр переменного тока.



Фиг. 45. Схема эквивалента антенны.

Измерение чувствительности приемника обычно производится в начале, середине и конце каждого диапазона. Генератор стандартных сигналов устанавливают на требуемую частоту, и на эту частоту точно настраивают приемник. При этом регулятор громкости приемника должен стоять в положении наибольшей громкости, а регуляторы тембра и полосы частот — в положении, соответствующем самой узкой полосе. Величина напряжения, подводимого от генератора, регулируется делителем напряжения (атенюатором) так, чтобы на выходе приемника (на звуковой катушке громкоговорителя) получалось напряжение

$$U = \sqrt{\frac{P_{норм}}{r}},$$

где $r$ — полное сопротивление звуковой катушки громкоговорителя на частоте 400 *гц*, *ом*;

$P_{норм}$ — нормальная мощность приемника, *вт*.

Определенная таким образом величина напряжения на выходе генератора и представляет собой чувствительность приемника. Глубина модуляции напряжения от генератора должна быть равна 30%.

Чувствительность приемника надо определять, начиная от малых значений напряжения генератора, потому что иногда при слишком большом входном напряжении детектор (особенно сеточный) и усилительные каскады перегружаются. Тогда выходное напряжение может быть сильно искажено (со значительными провалами) и одна и та же нормальная мощность может быть получена как при нормальном, так и много большем напряжении на выходе генератора.

По полученным данным строится диаграмма, характеризующая чувствительность по всему диапазону, которая у хороших приемников должна быть равномерной.

В табл. 6 приведены требования по чувствительности к радиовещательным приемникам (при $0{,}1P_{ном}$).

*Таблица 6*

| Диапазон | Чувствительность, *мкв* (не хуже) | | | |
|---|---|---|---|---|
| | I класс | II класс | III класс | IV класс |
| Длинноволновый | 50 | 200 | 300 | Оговаривается особо |
| Средневолновый | 50 | 200 | 300 | |
| Коротковолновый | 50 | 300 | 500 | |

Возможная точность определения чувствительности зависит от точности измерения напряжения несущей частоты, коэффициента модуляции и выходного напряжения. Учитывая погрешности всех измерений, можно ожидать, что общая погрешность будет порядка 15—20%.

Чувствительность приемника с гнезд звукоснимателя проверяют путем измерения значения напряжения с частотой 400 *гц*, подаваемого на гнезда звукоснимателя от генератора звуковой частоты, при котором на звуковой катушке громкоговорителя развивается напряжение, соответствующее номинальной мощности. Регулятор громкости при этом должен находиться в положении максимального усиления.

## СНЯТИЕ ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

Частотной характеристикой усилителя называется зависимость коэффициента усиления от частоты или, что то же, зависимость выходного напряжения от частоты. Обычно частотная характеристика изображается в виде

кривой с линейным или логарифмическим масштабом по обеим осям координатной системы. По горизонтальной оси откладывается частота $f$, а по вертикальной — отношение коэффициента усиления на любой частоте к коэффициенту усиления на какой-либо одной интересующей нас частоте $f_0$ (обычно средней). Иначе говоря, по вертикальной оси в некотором масштабе откладываются значения $\frac{K_f}{K_{f_0}}$ или $\frac{U_{вых\,f}}{U_{вых\,f_0}}$ в относительных единицах или децибелах.

Для проверки частотной характеристики усилителя нужны генератор стандартных сигналов (для высокочастотных усилителей) или генератор звуковой частоты с градуированным выходным напряжением (для низкочастотных усилителей) и вольтметр переменного тока с большим внутренним сопротивлением.

Обычно, говоря о частотной характеристике приемника, подразумевают под этим прежде всего частотную характеристику его низкочастотной части. Рассмотрим поэтому сначала методы снятия частотной характеристики усилителя низкой частоты.

Частотная характеристика показывает зависимость напряжения на выходе приемника от изменения частоты на входе усилителя (обычно на гнездах звукоснимателя) при неизменном по величине входном напряжении.

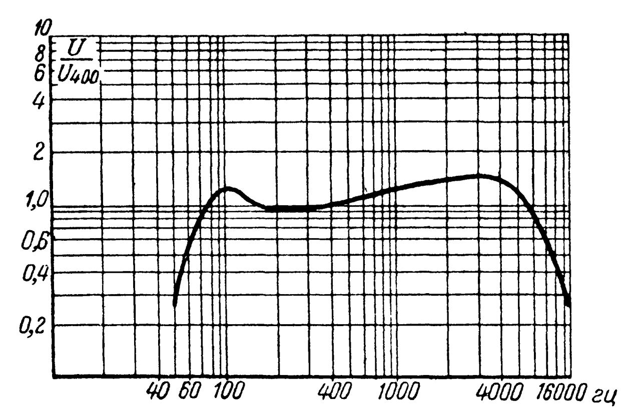
Для снятия характеристики необходимы генератор звуковой частоты и вольтметр переменного тока. Вольтметр присоединяется к выходу приемника, а звуковой генератор — к гнездам звукоснимателя. Регулятор громкости приемника устанавливается в такое положение, которое соответствует максимальной громкости, а регулятор тембра — в положение наиболее широкой полосы. Генератор настраивают на частоту 400 *гц* и регулируют напряжение от него таким образом, чтобы на выходе приемника получилось напряжение, соответствующее мощности 0,1 *ва* или номинальной мощности приемника, если она ниже 0,1 *ва*.

После этого, следя за тем, чтобы на выходе генератора все время поддерживалось то напряжение, которое было установлено при частоте 400 *гц*, измеряют напряжение на выходе приемника при различных частотах и записывают его. Например, в диапазоне частот 50 *гц*—10 *кгц* измерения можно произвести через каждые 10 *гц* до 100 *гц*, через 100 *гц* до 1 *кгц* и через 1 *кгц* до 10 *кгц* (если по ходу ра-

боты не потребуются какие-либо промежуточные значения частот).

Измеренные таким образом напряжения на выходе приемника при различных частотах делят на величину напряжения при частоте 400 *гц* и по полученным данным строят кривую зависимости усиления от частоты (фиг. 46).

По вычерченной кривой оценивается равномерность частотной характеристики усилителя, которую принято считать достаточно равномерной в тех границах, усиление в которых отличается не более чем в 2 раза (±6 *дб*) по сравнению с усилением на частоте 400 *гц*.




Фиг. 46. Частотная характеристика усилителя низкой частоты.

Выбор частоты 400 *гц* в качестве средней вызывается тем, что она лежит в наиболее равномерном участке обычных частотных характеристик и находится далеко от правого края графика, где кривая сильно изменяется регулировкой тембра.

Частотные характеристики радиовещательных приемников характеризуются следующими величинами: для приемников I класса — 60 ÷ 6 500 *гц*, II класса — 100 ÷ 4 000 *гц*, III класса — 150 ÷ 3 500 *гц* и IV класса — 200 ÷ 3 000 *гц*.

Проверка усилителя с помощью одночастотного сигнала синусоидальной формы хотя и очень удобна, но не позволяет достаточно полно оценить качество усилителя с точки зрения других его характеристик, например фазовой характеристики.

В устройствах, предназначенных для усиления звуковых сигналов, которые в конечном счете воспринимаются на слух, фазовые искажения имеют второстепенное значение. В широкополосных же импульсных усилителях, кроме равномерности частотной характеристики, существенна также линейность фазовой характеристики во всем диапазоне рабочих частот.

Проверку линейности фазовой характеристики можно произвести соответствующим измерением сдвига фаз для каждой из частот и затем построить график. Однако подобные измерения чрезвычайно утомительны. Поэтому проверку частотной характеристики усилителя и сдвига фаз в нем в настоящее время, как правило, производят с помощью импульсов прямоугольной формы.

При этих испытаниях применяются специальные генераторы прямоугольных импульсов. При отсутствии таких генераторов можно применить простую схему, с помощью которой синусоидальные колебания преобразуются в прямоугольные[1].

Вследствие большой крутизны фронта прямоугольного импульса можно считать, что спектр колебаний содержит не только основную частоту, равную частоте следования импульсов, но и большое количество гармоник (вплоть до 10—15). Это обстоятельство позволяет считать, что при неискаженном прохождении импульса полоса пропускания усилителя должна охватывать как основную частоту (частоту следования), так и 10-кратную ее величину. Поэтому прямоугольные импульсы с регулируемой частотой 20 *гц* — 10 *кгц* могут быть использованы для проверки усилителя с полосой пропускания от 20 *гц* до 100 *кгц*. Для широкополосных усилителей (видеоусилителей) частота следования импульсов должна доходить до 250—300 *кгц*.

Прямоугольные импульсы подаются на вход исследуемого усилителя, а к выходу последнего присоединяется электронный осциллограф, имеющий широкополосный усилитель. Надо иметь в виду, что при этом на вход усилителя подключается некоторая емкость и частотные характеристики будут несколько ухудшены. Усилитель желательно исследовать с включением на его выход электрического эквивалента той нагрузки, с которой он обычно работает. Если параметры входа осциллографа сильно отличаются

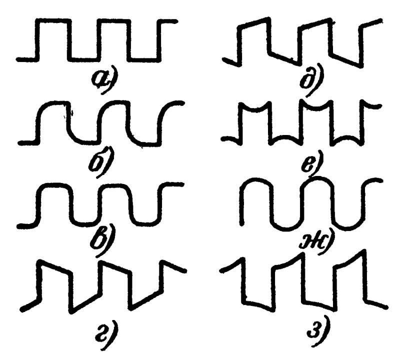
[1] Описание схемы генератора прямоугольных импульсов помещено в „Радио", 1951, № 6, стр 38.

от параметров нормальной для данного усилителя нагрузки, то можно рекомендовать включение между ними дополнительного каскада с катодным выходом. Величина катодной нагрузки лампы этого каскада выбирается такой, чтобы каскад не вносил дополнительных искажений в форму проходящих через него импульсов. На вход каскада с катодной нагрузкой могут быть включены та или иная емкость или сопротивление для приближения параметров его входа к параметрам нормальной нагрузки исследуемого усилителя.

Амплитуда импульсов, подаваемых на вход исследуемого усилителя, должна быть достаточно велика, для того чтобы их можно было наблюдать непосредственно на экране осциллографа без усилителя.

Некоторые характерные формы импульсов, наблюдаемых на экране осциллографа при исследовании частотных искажений в усилителях, приведены на фиг. 47.

Если усилитель работает без искажений, то на экране осциллографа наблюдаются прямоугольные импульсы (фиг. 47,*а*), соответствующие импульсам, подаваемым на вход усилителя.




Фиг. 47. Искажение прямоугольных импульсов в зависимости от частотных характеристик усилителей.

Если же в исследуемом усилителе имеется завал характеристики в области высших частот, то импульсы на выходе имеют форму, как на фиг. 47,*б*. При этом получается закругление ведущего фронта импульса. Для исправления таких искажений нужно увеличить индуктивность корректирующих катушек (если это окажется необходимым) или уменьшить значение сопротивления анодных нагрузок ламп.

В том случае, когда усиление сигнала во всей области частот одинаково, но в области высших частот наблюдается нелинейность фазовой характеристики, происходит закругление всех углов сигнала (фиг. 47,*в*). Для снижения искажений этого рода необходимо уменьшить величины анодных нагрузок. После этого может оказаться необходимым подбор нового значения корректирующих индуктивностей.

Для исследования частотной характеристики в области низших частот и соответствующей регулировки необходимы более продолжительные импульсы, чем для исследования в области высших частот. Так, например, испытания обычных усилителей низкой частоты и низкочастотных каскадов приемников можно производить импульсами с частотой следования 50 и 1 000 *гц*. Это позволяет проверить характеристику в области от 50 *гц* до 8—10 *кгц*.

Практика показала, что если на экране осциллографа вместо прямоугольных импульсов наблюдаются импульсы, как на фиг. 47,*г* и *д*, то подобные искажения свидетельствуют о наличии фазовых сдвигов. Наклон верхней части импульса тем больше, чем больше величина фазового сдвига, вносимого усилителем. Если верхняя часть наклоняется так, как показано на фиг 47,*г*, то это свидетельствует о том, что усилитель сдвигает фазу в сторону опережения. Наклон, показанный на фиг. 47,*д*, свидетельствует о сдвиге фазы в сторону отставания.

При снижении усиления в области низших частот форма импульсов искажается так же, как и в аналогичном случае для высших частот (фиг. 47,*в*).

Если параметры схемы таковы, что фазовых искажений нет, но усилитель подчеркивает высшие частоты, то выходной импульс имеет вид, показанный на фиг. 47,*е*. При подчеркивании же низких частот импульс принимает вид, как на фиг. 47,*ж*. Подобные искажения могут быть уменьшены либо путем увеличения постоянной времени элементов связи между каскадами, либо путем уменьшения постоянной времени этих цепей.

Перечисленные искажения практически могут сочетаться в различных комбинациях. Например, фиг. 47,*з* иллюстрирует изображение, соответствующее случаю, когда усилитель наряду с фазовыми искажениями имеет еще и подчеркивание высоких частот.

Регулировка усилителя и выбор наиболее удачных параметров его схемы осложняются тем, что каскады никогда не бывают совершенно идентичными, и в разных каскадах могут быть искажения различных типов, которые накладываются при прохождении сигнала через весь усилитель. Поэтому нужно по возможности производить покаскадную регулировку схемы.

Снятие частотной характеристики высокочастотной части приемника производится для определения избирательности или ширины полосы пропускания по высокой и про-

межуточной частоте, ослабления зеркального канала и ослабления сигнала на частоте, совпадающей с промежуточной частотой.

Избирательность приемника характеризует его способность выделять сигнал нужной частоты и не пропускать сигналы других станций. Для суждения об избирательности приемника пользуются его резонансной характеристикой, показывающей зависимость усиления от изменения частоты высокочастотного напряжения на входе приемника в обе стороны от той резонансной частоты приемника, на которой желательно произвести измерение. Обычно измерение избирательности производится в середине каждого диапазона или в двух точках вблизи его граничных частот. Для этого приемник с помощью генератора стандартных сигналов, подключенного через эквивалент антенны, настраивается на ту частоту, на которой должно производиться измерение (например, на частотах 250, 600 и 1 200 *кгц*).

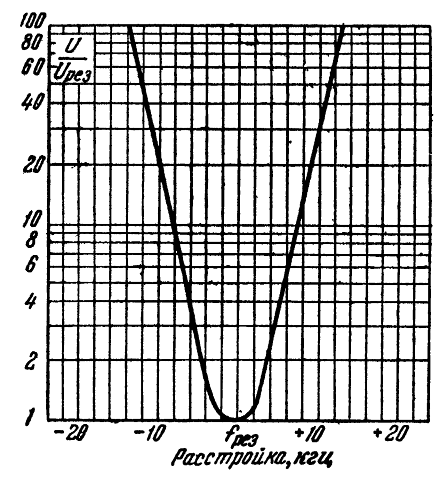
Выходное напряжение генератора стандартных сигналов, модулированное частотой 400 *гц* при уровне модуляции 0,3, берется примерно в 2 раза бо́льшим напряжения, соответствующего нормальной чувствительности приемника. На выходе приемника напряжение регулируется до величины, соответствующей его нормальной мощности. После этого, оставляя настройку приемника прежней, изменяют частоту генератора на 2 *кгц* в сторону уменьшения. Так как при этом напряжение на выходе приемника несколько уменьшается, то его доводят до прежнего значения увеличением напряжения генератора. Если напряжение генератора, полученное в первый раз, обозначить через $U_{рез}$, а при расстройке — через $U$, то отношение $U/U_{рез}$ покажет, во сколько раз при расстройке на 2 *кгц* уменьшилась чувствительность приемника. Аналогичным образом производят измерения при расстройке генератора на 2 *кгц* в сторону увеличения частоты и на 4, 6, 8, 10 и т. д. килогерц как в сторону уменьшения частоты, так и в сторону ее увеличения.

Определив в каждом случае уменьшение чувствительности, строят по полученным данным график (фиг. 48), представляющий собой резонансную характеристику приемника, или, как ее еще называют, кривую избирательности. По горизонтальной оси откладывается в линейном масштабе величина расстройки в обе стороны от резонансной частоты, а по вертикальной оси — в логарифмическом

масштабе полученные значения уменьшения чувствительности. Обычно эти значения выражаются в децибелах.

Отношение напряжения генератора стандартных сигналов (ГСС) при настройке в резонанс к напряжению при расстройке на +10 и —10 *кгц*, выраженное в децибелах, является показателем избирательности.

Избирательность радиовещательных приемников при расстройке на ±10 *кгц* согласно существующим нормам должна быть не менее 46 *дб* для приемников I класса, 26 *дб* для приемников II класса и 20 *дб* для приемников III класса.




Фиг. 48. Частотная характеристика высокочастотного усилителя.

Если отметить точки, при которых чувствительности ослаблены в 2 раза (6 *дб*), то расстояние между ними укажет полосу пропускания по высокой и промежуточной частоте. Хороший радиовещательный приемник должен иметь полосу пропускания по высокой частоте порядка 8—9 *кгц* и резонансную характеристику с резко спадающими краями, дающую значительное ослабление приема по соседнему каналу.

Точность определения резонансной кривой зависит от погрешности, связанной с измерительным генератором, и погрешностей, связанных с самим методом определения резонансной кривой при помощи модулированных колебаний. Точность отсчета расстройки по нониусной шкале генератора может быть достаточно высока. На длинных волнах легко удается определить расстройку с точностью порядка 250 *гц* в нужной полосе частот (—20 *кгц*). На коротких волнах расстройку определить труднее. Здесь для точного измерения, кроме очень тонкой регулировки частоты генератора, нужно обеспечить и хорошую ее стабильность. Во всяком случае погрешность этого рода невелика и составляет 1—2%.

Применение для снятия резонансной кривой модулированного высокочастотного напряжения само по себе мо-

жет привести к некоторым ошибкам. Действительно, так как модулированное колебание представляет собой в первом приближении спектр трех частот ($f_0$, $f_0+F$ и $f_0-F$), то при достаточно высокой модулирующей частоте $F$ боковые частоты $f_0+F$ и $f_0-F$ будут усиливаться хуже. Это будет эквивалентно уменьшению коэффициента модуляции и, следовательно, приведет к уменьшению напряжения на выходе.

Для уменьшения такого рода погрешности необходимо при измерениях частоту модуляции брать достаточно низкой (не выше 0,2—0,1 ширины полосы пропускания высоких частот). Таким образом, стандартная частота 400 *гц* вполне приемлема только при обычно встречающихся полосах от 3 до 8 *кгц* и выше. Если полоса пропускания уже 3 *кгц*, то точное определение полосы при модулирующей частоте 400 *гц* невозможно, и в этом случае частоту модуляции нужно снижать до необходимой.

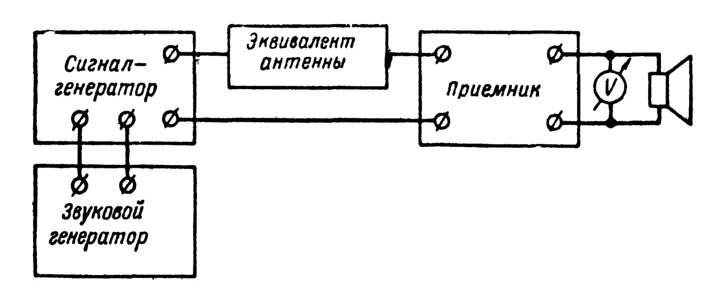
При перегрузке детектора (сеточного) получается ошибка в виде сильно искаженных двугорбых кривых настройки, иногда с очень глубоким провалом в середине. Это явление объясняется тем, что наиболее сильное влияние сеточного детектирования вследствие перегрузки получается при резонансе и вблизи него. При больших расстройках уменьшается напряжение на детекторе, восстанавливается нормальное детектирование и на выходе получается большое напряжение. При очень больших расстройках оно снова будет уменьшаться нормальным путем.

В этом случае для исключения ошибки следует уменьшать напряжение генератора, вследствие чего максимумы будут постепенно сближаться и, наконец, сольются вместе.

Мы видели, что искажения различных частот в приемнике могут вызываться не только низкочастотными, но и высокочастотными каскадами. Для оценки неравномерности усиления по всему радиоприемному тракту (от антенны до громкоговорителя) служит частотная характеристика всего тракта приемника (кривая верности), выражающая у нормально работающего приемника зависимость выходного напряжения от частоты звуковых колебаний, которыми модулируется несущая частота сигнала, причем напряжение этой несущей частоты на входе приемника и глубина модуляции остаются постоянными.

Снятие характеристики верности производится по схеме, приведенной на фиг. 49.

Через эквивалент антенны на вход приемника подается напряжение от генератора высокочастотных колебаний. Модуляция напряжения высокой частоты осуществляется от внешнего генератора. Величина несущей частоты выбирается в зависимости от того, в какой точке диапазона желательно произвести измерение. Для уменьшения влияния промышленных и других помех величина сигнала от генератора устанавливается равной 1—5 *мв*. Частота модуляции выбирается равной 400 *гц*, а глубина модуляции — 0,3




Фиг. 49. Блок-схема снятия характеристик верности.

(30%). Затем на выходе приемника регулятором громкости усилителя низкой частоты устанавливают мощность, равную 0,1 *ва*, или номинальную мощность, если она ниже 0,1 *ва*.

После этого, меняя через определенные промежутки частоту звукового генератора (при постоянной глубине модуляции $m = 0{,}3$), определяют напряжения на выходе приемника. Эта часть измерений, как и графическое оформление результатов по полученным измеренным данным, аналогична снятию частотной характеристики. Полоса пропускания по характеристике верности определяется таким же образом, как и для частотной характеристики, т. е. определяется участок частот, в котором разность амплитуд напряжения на выходе и амплитуд на стандартной частоте ($F = 400$ *гц*) не превышает 6 *дб*.

Характеристика верности обычно отличается от частотной характеристики усилителя низкой частоты завалом в области высоких звуковых частот. Этот завал объясняется влиянием контуров высокой и промежуточной частот, полоса пропускания которых иногда бывает такова, что боковые частоты, соответствующие модулирующим частотам выше 3 *кгц*, заметно ослабляются.

Кривая верности в области низких частот обычно совпадает с низкочастотной частью характеристики усилителя, так как передача этих частот в резонансных каскадах и при детектировании происходит без ослабления.

Горбы или впадины на кривой верности в области более низких частот бывают вызваны обратной связью за счет источников питания или сеточного смещения. Для такого рода искажений характерна значительная зависимость их от амплитуды несущей частоты (искажения растут с ростом напряжения сигнала). При использовании этой зависимости рекомендуется для контроля и выявления подобного рода дефектов повторно снять частотную характеристику всего приемника при вдвое большей амплитуде несущей частоты и вдвое меньшем коэффициенте модуляции. Если этот дефект вызван указанными причинами, то отклонения кривой должны быть выражены еще резче, что указывает на недостаточность защитных фильтров в приемнике.

Во избежание ошибок при измерениях нужно применять вольтметры, работающие в широком диапазоне частот. Ошибки могут быть внесены также большим уровнем фона и микрофонным эффектом.

При снятии характеристики верности положение регулятора тембра приемника должно соответствовать наиболее широкой воспроизводимой полосе частот. Вообще говоря, при наличии регулятора тембра частотную характеристику усилителя можно и даже желательно иметь равномерной вплоть до 6—7 *кгц*. Если расширение полосы нежелательно (например, при воспроизведении шипящей пластинки), то поворотом регулятора полоса может быть сужена до желаемого предела.

Кроме уже рассмотренных параметров, приемники имеют еще две характеристики, которые непосредственно зависят от частоты. Это — ослабление зеркального канала и ослабление сигнала промежуточной частоты.

Ослабление зеркального канала определяют в соответствии с методикой, которая указана для определения избирательности, но при расстройке генератора стандартных сигналов на величину двойного значения промежуточной частоты в сторону бо́льших частот, при частоте гетеродина выше принимаемой, и в сторону меньших частот, при частоте гетеродина ниже принимаемой. Отношение напряжения генератора при настройке в резонанс к напряжению при расстройке, выраженное в децибелах, является показате-

лем ослабления зеркального канала. Измерения производятся на самой высокой частоте каждого из поддиапазонов.

Ослабление сигнала промежуточной частоты проверяют путем подачи на вход приемника через эквивалент антенны напряжения (модулированного частотой 400 *гц* при глубине модуляции 30%), при котором на выходе приемника развивается напряжение, соответствующее 0,1 номинальной мощности. Несущая частота выбирается в том же диапазоне, что и промежуточная, и отличается от последней на 50—60 *кгц*.

Отношение напряжения сигнала принимаемой частоты к напряжению промежуточной частоты, выраженное в децибелах, и является показателем ослабления сигнала промежуточной частоты.

## ИЗМЕРЕНИЕ ПЕРЕКРЫТИЯ ДИАПАЗОНА

Для определения перекрываемого диапазона приемник, как и в случае определения чувствительности, соединяют с генератором стандартных сигналов, включают какой-либо диапазон и конденсатор настройки поочередно ставят в два крайних положения, соответствующих началу и концу диапазона. Для каждого из этих положений генератор настраивают до получения наибольшего отклонения стрелки вольтметра или наиболее сильного звука в громкоговорителе приемника и отмечают полученные на генераторе частоты, являющиеся граничными для данного диапазона.

## СНЯТИЕ ХАРАКТЕРИСТИК РЕГУЛИРОВКИ ГРОМКОСТИ

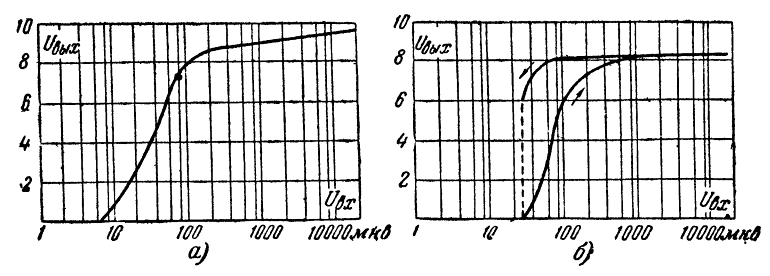
При определении характеристик регуляторов громкости в большинстве случаев, особенно в супергетеродинных приемниках, приходится иметь дело с двумя видами регулировки громкости: ручным регулятором громкости, находящимся в усилителе низкой частоты, и автоматической регулировкой усиления (АРУ), применяемой обычно в усилителях высокой и промежуточной частоты и поддерживающей (регулирующей) напряжение высокочастотного сигнала на более или менее постоянном уровне.

Характеристика АРУ приемника показывает, в какой мере поддерживается постоянство выходной мощности приемника при изменении напряжения сигнала на его входе.

Эту характеристику определяют путем подачи на вход приемника от генератора стандартных сигналов через экви-

валент антенны напряжения 50—100 *мв*, модулированного частотой 400 *гц* при глубине модуляции 30%. Регулятор громкости при этом устанавливают в положение, при котором на выходе приемника получается напряжение, соответствующее номинальной мощности. Затем высокочастотное напряжение генератора постепенно уменьшают и одновременно отмечают значения напряжения на выходе приемника.

Примерная кривая такой зависимости приведена на фиг. 50,*а*. Нижним пределом напряжения, до которого можно уменьшить уровень сигнала, является напряжение порядка 50 *мкв*. Спускаться ниже этого предела нет необходимости, так как в большинстве случаев перегиб кривой наступает при значительно бóльших уровнях.




Фиг. 50. Характеристики АРУ.

Как видно из фиг. 50,*а*, при малых входных напряжениях (пока не действует автоматическая регулировка) изменение напряжения на входе приемника вызывает пропорциональное изменение напряжения на его выходе. При больших входных напряжениях кривая изгибается и принимает очень пологий вид.

При налаживании АРУ стремятся получить практически горизонтальную прямую, идущую до очень больших напряжений, т. е. получить постоянную величину напряжения на выходе. Поэтому можно считать, что мерой качества работы АРУ является крутизна снятой характеристики. Чем более полого идет характеристика, тем совершеннее работа АРУ. Таким образом, действие АРУ характеризуется отношением напряжений на выходе приемника при максимальном и минимальном напряжениях на его входе. Обычно это отношение выражается в децибелах.

Качество автоматической регулировки характеризуется также чувствительностью регулировки, определяющей на-

чало действия регулировки через минимально необходимую для этого величину входного напряжения $U_{вх}$ сигнала.

Вследствие того что перегиб кривой бывает выражен нерезко, начало регулировки определяется следующим образом. На графике проводят две прямые линии, одна из которых касательна к пологой части кривой в точке, соответствующей $U_{вх} = 10$ *мв*, а другая — к середине крутой части кривой. Величина $U_{вх}$, соответствующая точке пересечения этих прямых, и будет характеризовать чувствительность регулировки.

Во избежание ошибок при снятии характеристик АРУ измерения желательно производить на частотах средневолнового и длинноволнового диапазонов. В тех приемниках, где начальное смещение в каскадах высокой частоты отсутствует (оно задается системой АРУ), при некотором напряжении (определяемом чувствительностью АРУ) амплитудная характеристика усиления образует как бы гистерезисную петлю (фиг. 50,*б*). Если двигаться от очень малых напряжений в сторону увеличения, то кривая начинается резким крутым подъемом. При обратном же ходе загиб книзу начинается позже, чем при увеличении сигнала, и кривая обрывается еще резче. Чувствительность в этом случае определяется по восходящей ветви кривой.

Работу ручного регулятора громкости проверяют подачей от звукового генератора на гнезда звукоснимателя напряжения с частотой 400 *гц*. Подаваемое напряжение регулируют так, чтобы при положении регулятора, соответствующем максимальной громкости, на выходе приемника или усилителя была установлена мощность, равная 0,1 номинальной мощности. После этого регулятор громкости устанавливают в положение минимальной громкости, а напряжение на входе увеличивают до тех пор, пока на выходе опять не установится то же напряжение, что и при положении регулятора на максимальной громкости.

Отношение входного напряжения при установке регулятора на минимальную громкость ко входному напряжению при максимальной громкости, выраженное в децибелах, характеризует работу ручного регулятора громкости. Для приемников среднего класса регулировка громкости должна осуществляться в пределах не менее 40 *дб*, т. е. не менее чем в 100 раз по напряжению или в 10 000 раз по мощности.

При отсутствии в приемнике гнезд для звукоснимателя работа ручного регулятора громкости проверяется подачей на вход приемника такого сигнала от генератора, модулированного частотой 400 *гц* при глубине модуляции 30%, чтобы при регуляторе громкости, установленном в положение наибольшей громкости, на выходе приемника получалось напряжение, соответствующее номинальной мощности. После этого регулятор громкости устанавливают в положение минимальной громкости и вольтметром снова измеряют напряжение на выходе. Работа регулятора характеризуется в этом случае отношением наибольшего напряжения к наименьшему и выражается в децибелах.

## ИЗМЕРЕНИЕ УРОВНЯ ФОНА

Напряжением фона приемника называется напряжение на его выходе (на звуковой обмотке громкоговорителя) при подаче на вход приемника немодулированного высокочастотного сигнала. Фон хотя и не искажает воспроизводимую передачу, но, накладываясь на нее, снижает качество воспроизведения.

Наличие фона объясняется различными причинами (собственными внутренними шумами различных элементов схемы, пульсацией выпрямленного тока, электромагнитной индукцией на цепи управляющих сеток ламп и т. д.). Мерой оценки величины фона является коэффициент фона, представляющий собой отношение напряжения фона на выходе приемника при отсутствии сигнала к напряжению сигнала, соответствующему номинальной мощности.

Определение уровня фона приемника производится посредством измерения напряжения фона на звуковой катушке громкоговорителя или на первичной обмотке выходного трансформатора. В последнем случае при использовании для измерений прибора, рассчитанного на измерение напряжений не только переменного, но и постоянного тока, необходимо последовательно с вольтметром включить разделительный конденсатор. Величина емкостного сопротивления этого конденсатора на частоте 50 *гц* должна составлять не более 0,01—0,05 входного сопротивления прибора.

При измерениях уровня фона гнезда звукоснимателя приемника должны быть замкнуты накоротко, а регулятор громкости должен находиться в положении максимального усиления.

Отношение замеренного напряжения фона к напряжению звуковой частоты, необходимому на выходе приемника

для создания номинальной мощности, выраженное в децибелах, и будет представлять собой показатель уровня фона приемника.

Нужно сказать, что хотя приведенная методика и рекомендуется ГОСТ 5882-51, она предусматривает измерение уровня фона только в усилителе низкой частоты и совершенно не дает исчерпывающих данных относительно общей величины фона при приеме сигнала радиостанции (конечно, при отсутствии модуляции), так как в этом случае совершенно не учитывается высокочастотный фон, величина которого может быть весьма значительной, особенно в супергетеродинных приемниках.

Поэтому наряду с приведенной методикой желательно произвести дополнительные измерения уровня фона по всему тракту. В этом случае коэффициентом фона можно назвать отношение напряжения общего фона на выходе приемника (при отсутствии модуляции) к напряжению низкочастотного сигнала (400 *гц*), появляющемуся на выходе, если несущая частота будет промодулирована соответствующим напряжением.

Следует иметь в виду, что определяемый таким образом коэффициент фона зависит от величины сигнала на входе. При увеличении сигнала он уменьшается, а при уменьшении увеличивается. Поэтому величину фона определяют при таком уровне сигнала, который при коэффициенте модуляции $m = 0{,}3$ обеспечивает на выходе нормальную мощность.

Обычно уровень фона в сетевых приемниках не должен превышать 40—46 *дб*. Если уровень фона значительно превышает указанную величину, то это свидетельствует о наличии какого-либо дефекта (плохая лампа, плохой контакт, паразитная генерация — в случае повышенного высокочастотного фона или плохая фильтрация, электромагнитные наводки и т. д.— в случае низкочастотного фона).

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ РАБОТЫ ПРИЕМНИКА

Устойчивость работы приемника (или усилителя) в основном определяется: стабильностью работы приемника при колебаниях напряжения источников питания, стабильностью частоты настройки, а также электрической и механической прочностью.

В рабочих условиях напряжение питания колеблется в очень широких пределах. Так, в случае питания приемни-

ка от сети напряжение последней изменяется в пределах $\pm 10\%$ и более; напряжение кислотных аккумуляторов в процессе эксплуатации может падать на 10%, напряжение щелочных аккумуляторов — на 10—20%, а сухих батарей — до 30% от номинального значения.

При столь значительных перепадах напряжения возможно определенное уменьшение усиления и выходной мощности, увеличение нелинейных искажений, возникновение паразитной генерации за счет увеличения сопротивления источников питания или, наоборот, срыв генерации гетеродина из-за уменьшения крутизны гетеродинной лампы.

Повышение питающего напряжения сверх номинального обычно не ухудшает значительно характеристик приемника, но получающееся при этом изменение параметров ламп может повлечь за собой возникновение генерации.

Для стабильной работы приемник должен быть рассчитан не только на номинальное напряжение, но и на возможные его колебания.

Работоспособность приемника при колебаниях напряжения питания определяют следующим образом.

Для каждого номинального значения напряжения для сетевых приемников и напряжения батарей для батарейных приемников по приведенным выше методам измеряются чувствительность и коэффициент нелинейных искажений.

Затем приемник выключается и охлаждается, после чего он снова включается на пониженное (—5%) напряжение. Посредством подачи на вход приемника через эквивалент антенны такого напряжения от генератора стандартных сигналов, которое достаточно для получения на выходе приемника напряжения, соответствующего 0,1 номинальной мощности, и посредством изменения частоты сигнала от самой высокой до самой низкой в каждом из поддиапазонов (при соответствующей настройке приемника) проверяют работоспособность приемника.

После этого приемник точно так же испытывают при последовательном уменьшении напряжения на 10, 15 и 20% и при повышении его на +5 и +10%.

В процессе испытаний не должно наблюдаться ни срыва генерации, ни появления паразитных генераций и свистов как на высокой, так и на низкой частотах.

При пониженном напряжении питания измеряется также и неискаженная мощность, под которой, как указывалось ранее, подразумевается мощность, получаемая при коэффициенте нелинейных искажений, равном 10%.

Надежная работа приемника в течение длительного времени зависит от стабильности частоты его настройки. Нестабильность частоты настройки может вызываться уходом частоты гетеродина от самопрогревания и изменения температуры, нестабильностью контуров высокой и промежуточной частоты при изменении температуры и влажности и рядом других причин. Практически наибольшее значение имеет лишь нестабильность частоты гетеродина.

Уход частоты гетеродина приводит к тому, что разностная частота между частотой гетеродина и частотой сигнала ($f_г - f_{сигн} = f_{пр}$) также выходит из полосы пропускания контуров промежуточной частоты. Это приводит к искажениям и уменьшению усиления.

Уход частоты гетеродина от самопрогрева определяют точным измерением частоты гетеродина гетеродинным волномером. Первый замер делают через 5 и второй через 15 мин. после включения приемника. Разность частот гетеродина в килогерцах при первом и втором замерах характеризует стабильность работы приемника при самопрогреве.

Измерения должны производиться в точках, соответствующих наиболее высокой частоте каждого из поддиапазонов. Нестабильность или уход частоты гетеродина выражаются либо в килогерцах, либо в процентах. В последнем случае берется отношение $\frac{\Delta f}{f} \cdot 100\%$, где $\Delta f$ — уход частоты за данный промежуток времени и $f$ — частота гетеродина при первом измерении. При измерениях необходимо следить за тем, чтобы напряжение источников питания приемника поддерживалось постоянным.

Уход частоты из-за колебаний напряжения питания определяется аналогично, но само измерение производится после 1,5—2-часового прогрева. Первое измерение частоты производится при номинальных напряжениях питания ламп. После этого напряжение источников питания изменяют в нужных пределах в сторону увеличения и уменьшения и с помощью волномера снова измеряют частоту гетеродина.

Проверку электрической и механической прочности производят в соответствии с поставленными условиями.

Проверку на отсутствие в приемнике микрофонного эффекта, дребезжания, генерации и прочих паразитных явлений производят посредством прослушивания приемника при работе его на наружную антенну или на однолучевую

антенну длиной 6—8 *м* (индуктивно связанную с генератором стандартных сигналов) на всех поддиапазонах (особенно тщательно на частотах, при которых приемник имеет склонность к микрофонному эффекту) и посредством подачи на вход для звукоснимателя напряжения от генератора звуковой частоты. Частота сигнала при этом должна изменяться от самой низкой до самой высокой.

Прослушивание должно производиться при максимально возможной мощности для приемников I класса и в пределах номинальной мощности для приемников остальных классов (при всех положениях регуляторов тембра) и полосы пропускания частот.

Запас электрической прочности определяют величиной относительного повышения питающего напряжения, которое может быть допущено без опасности повреждения деталей. Такое испытание, как правило, производится применительно к отдельным деталям и узлам путем подачи на них повышенных напряжений.

## ИЗМЕРЕНИЕ МОЩНОСТИ, ПОТРЕБЛЯЕМОЙ ПРИЕМНИКОМ

Мощность, потребляемую приемником от сети, определяют измерением потребляемого тока при номинальном напряжении сети.

Для батарейных приемников мощность, потребляемую от источников питания, определяют путем измерения тока накала, тока анодных цепей и тока цепей сетки (при наличии батареи сеточного смещения) при номинальных значениях напряжений питания.

Если приемник имеет систему АРУ, то определение потребляемой мощности производится при подаче на вход приемника сигнала с частотой 1 000 *кгц*, модулированного частотой 400 *гц* ($m = 0,3$), величина которого равна двойному значению напряжения чувствительности. На выходе приемника при этом измерении устанавливают напряжение, соответствующее 0,3 номинальной мощности.

---

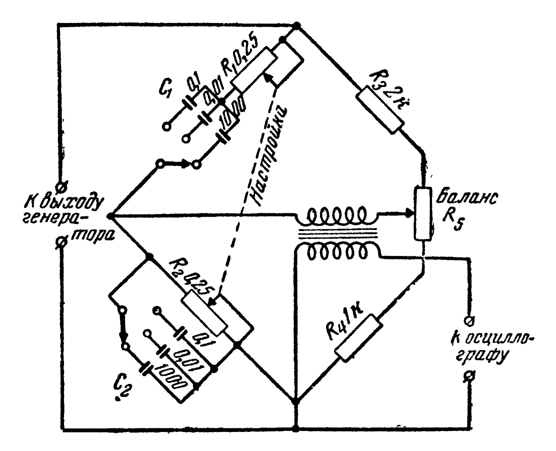
ГЛАВА ШЕСТАЯ

# ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ РАДИОПЕРЕДАТЧИКОВ И ГЕНЕРАТОРОВ

## ИЗМЕРЕНИЕ ЧАСТОТЫ ГЕНЕРАТОРОВ И ПЕРЕДАТЧИКОВ

Частоту низкочастотных генераторов можно определить измерителем частоты ИЧ-5.

При отсутствии этого прибора частота до 15—20 *кгц* может быть измерена с помощью простого моста (фиг. 51). Точность измерения частоты на таком мосте при идентичности включенных в его плечи деталей достигает 0,5—1% (величина сопротивления потенциометра $R_5$ составляет 1—2% величины переменных сопротивлений $R_1$ и $R_2$).




Фиг. 51. Схема моста для измерения частот.

Неизвестная частота, соответствующая моменту равновесия моста и определяемая по минимуму амплитуды на выходе, подсчитывается по формуле

$$f = \frac{1}{6{,}28RC},$$

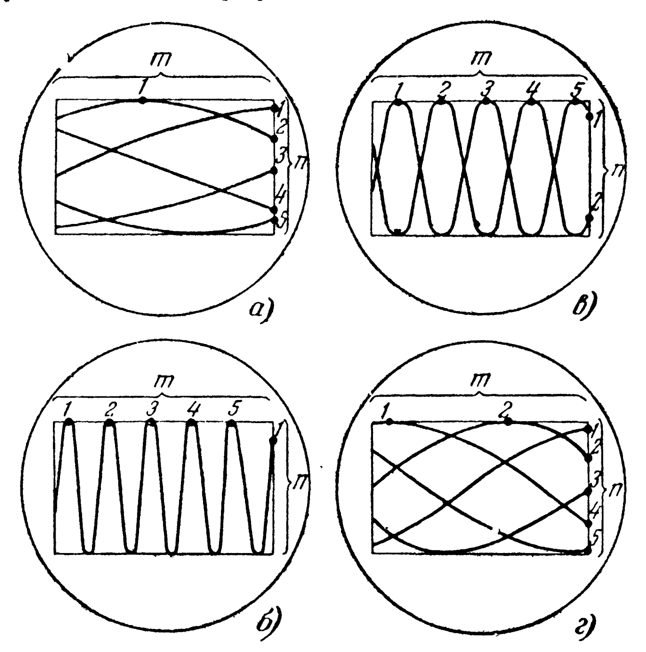
где $R$ — величина сопротивления $R_1$ или $R_2$, *ом*;

$C$ — емкость включенного конденсатора $C_1$ или $C_2$, *ф*.

Основная ошибка при измерении таким мостом определяется величиной гармоник, для которых мост не будет сбалансирован. Однако, применяя в качестве индикатора

баланса осциллограф, с помощью которого можно хорошо видеть уменьшение основной частоты, погрешность измерения удается довести до незначительной величины.

Для измерения частоты может быть использован также электронный осциллограф.




Фиг. 52. Определение частот с помощью осциллографа.

В этом случае напряжение неизвестной частоты $f_x$ подается на одну пару отклоняющих пластин трубки осциллографа, а напряжение известной частоты $f_0$ (от градуированного генератора) — на другую пару пластин.

Когда отношение частот равно целому числу или дроби, у которой числитель и знаменатель выражены простыми числами, на экране осциллографа появляются неподвижные изображения (фиг. 24 и 52). При этом частоты будут относится друг к другу, как количество касаний изображения с горизонтальной линией $m$ (если воспользоваться сеткой на экране) к количеству касаний его с вертикальной линией $n$, т. е.

$$\frac{f_x}{f_0} = \frac{m}{n}, \text{ откуда } f_x = f_0 \cdot \frac{m}{n}.$$

В случае, когда $f_x = f_0 \left( \text{при } \frac{m}{n} = 1 \right)$, изображение на экране будет иметь форму эллипса или круга.

Измерение высоких частот также может быть произведено различными способами. Наиболее простые из них — измерение с помощью волномера (резонансного или гетеродинного) и осциллографа.

Измерение длины волны (частоты) производится при помощи резонансного волномера (см. стр. 32). Произведя отсчет по шкале конденсатора, находят резонансную частоту по графику, соответствующему включенной катушке.

Для повышения точности измерения необходимо, чтобы связь между волномером и генератором была по возможности слабой. Однако при такой связи волномер будет отбирать от измеряемого контура весьма незначительную энергию и поэтому будет реагировать очень слабо. При измерениях эту связь нужно подобрать экспериментально. Связь волномера с передатчиком считается нормальной, если максимальное отклонение стрелки гальванометра при резонансе не превышает половины всей его шкалы. При сильной связи возможны искажения результатов измерений, пережог термопары и порча гальванометра.

Для повышения точности измерения при расплывчатом максимуме (тупая кривая резонанса) пользуются «вилочным» методом определения резонанса. Сущность его заключается в том, что на шкале берут два отсчета, соответствующих прохождению стрелки гальванометра через одно и то же деление при подъеме и спаде кривой резонанса. Тогда средняя арифметическая величина этих отсчетов и будет определять точку резонанса.

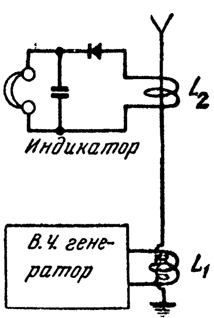
Определение высокой частоты с помощью осциллографа производится аналогично измерению низких частот, т. е. путем подачи известной частоты на одну пару пластин, а неизвестной частоты — на другую. В этом случае (при подаче высокочастотных напряжений достаточной амплитуды непосредственно на отклоняющие пластины, т. е. помимо усилителя) можно измерять частоты до 100—200 *мггц*.

## ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ АНТЕННЫ

Антенна представляет собой колебательный контур с распределенными параметрами, а потому, как и всякий контур, обладает собственной частотой колебаний Вслед-

ствие этого определение собственной длины волны антенны сводится к нахождению той частоты, при которой в антенне имеет место резонанс.

Для этого с антенной слабо, с помощью одного-двух витков, связывают выход модулированного высокочастотного генератора (фиг. 53). На значительном расстоянии от генератора с проводом снижения антенны индуктивно связывается одно-двухвитковая катушка $L_2$ индикатора резонанса (можно применить телефонные трубки и кристаллический детектор). Предварительно следует убедиться, что генератор не влияет непосредственно на индикатор. Для этого генератор относят возможно дальше от индикатора и применяют весьма слабые связи с антенной. Кроме того, следует проверить, чтобы собственная частота индикатора была далека от ожидаемой частоты резонанса антенны.



Фиг. 53. Схема измерения собственной длины волны антенны.

После этого измеряют частоту генератора до тех пор, пока индикатор не отметит момента резонанса контура антенны, что будет проявляться в виде максимума звука в телефоне. По величине частоты градуированного генератора определяют длину волны антенны.

Измерение активного сопротивления антенны может быть произведено наиболее просто методом вариации сопротивления.

При этом измерении антенна возбуждается с помощью лампового генератора. Изменением настройки генератора устанавливают такую частоту, которая соответствует резонансной частоте антенны. По тепловому или термоэлектрическому прибору, включенному в пучность тока, определяют резонанс и записывают показание $I_1$ прибора. После этого в цепь антенны включают известное сопротивление $R_0$ (порядка 20—50 *ом*) и снова записывают показание $I_2$ прибора.

Величина активного сопротивления подсчитывается по формуле

$$R_A = R_0 \frac{I_2}{I_1 - I_2}.$$

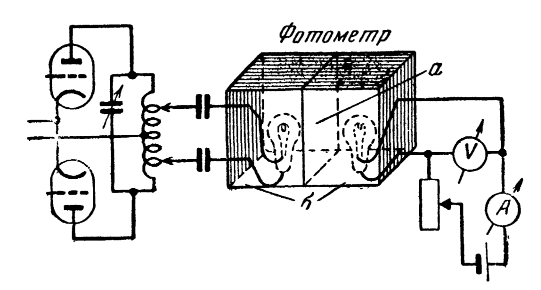
Из полученного значения следует исключить сопротивление измерительного прибора.

## ИЗМЕРЕНИЕ МОЩНОСТИ

Простейшим способом измерения мощности низкочастотных и высокочастотных генераторов и передатчиков является определение ее по активному сопротивлению цепи $R$ и эффективному значению проходящего по сопротивлению тока $I$. В этом случае мощность может быть найдена по формуле

$$P = I^2 \cdot R.$$

Так как величина активного сопротивления цепи может быть определена достаточно точно (вплоть до очень высокой частоты), то этот метод дает удовлетворительные результаты в широком диапазоне частот (до 200 *мггц*).



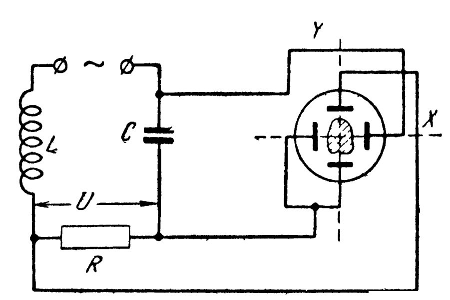

Фиг. 54. Схема фотометрического способа измерения мощности.

Нередко для измерения мощности применяется фотометрический метод (фиг. 54). Фотометр представляет собой ящик, разделенный на две равные части светонепроницаемой перегородкой *а*. Передней стенкой ящика служит матовое стекло *б*. Внутри каждой половины ящика устанавливают по одинаковой лампочке накаливания (выбор мощности установленных ламп зависит от измеряемой мощности передатчика). Одна из ламп питается током высокой частоты от измеряемого передатчика, а другая — от аккумуляторов или другого источника. При одинаковой яркости ламп матовое стекло будет освещено равномерно, следовательно, подводимые к лампам мощности будут одинаковы. Зная мощность, подводимую к лампе, питаемой постоянным током, легко определить и мощность передатчика. Фотометр может быть заранее отградуирован в ваттах на постоянном или переменном токе (в зависимости от рода тока, подводимого к лампе).

Недостатком такого метода является неточность измерения, получающаяся вследствие наличия емкости между цоколем и нитью ламп, некоторой индуктивности нити накала, а также вследствие неточного определения момента равномерности освещения. Преимущество этого метода заключается в простоте и возможности измерения мощностей от долей ватта (при применении лампочки от карманного фонаря) до десятков или сотен ватт (при больших лампах накаливания).

Для расширения диапазона частот в фотометре используют софитные бесцокольные лампочки с прямой нитью накала. Применение их позволяет расширить диапазон частот до 300 *мггц*. Для частот выше 300 *мггц*, когда длина нити лампы накаливания и проводов питания становится соизмеримой с длиной волны, точность измерения резко уменьшается.

Измерение мощности может быть также произведено с помощью электронного осциллографа.




Фиг. 55. Схема измерения мощности с помощью осциллографа.

Если отклонение электронного пучка в одном направлении производится полем, интенсивность которого пропорциональна току, а в другом направлении — полем, пропорциональным напряжению на нагрузочном сопротивлении, то площадь, получаемая на экране в виде замкнутой фигуры Лиссажу, может служить мерой мощности.

Схема измерений приведена на фиг. 55. Здесь последовательно с сопротивлением $R$, потребляющим мощность, включены емкость $C$ и индуктивность $L$, которые берутся такими, чтобы их реактивные сопротивления компенсировали друг друга. Напряжение с емкости $C$ подается на одну, а с нагрузочного сопротивления — на другую пару отклоняющих пластин. На экране трубки получается замкнутая кривая, изображенная на фиг. 55.

Размеры по вертикали полученной кривой пропорциональны мгновенным значениям напряжения на сопротивлении $R$, а по горизонтали — мгновенным значениям напряжения на конденсаторе $C$.

Мощность, определяемая площадью экрана, ограниченной кривой, определяется по формуле

$$P = kSCf,$$

где $P$ — потребляемая сопротивлением $R$ мощность, *вт*;
$k$ — число, определяемое дополнительным измерением;
$S$ — полученная на экране площадь фигуры, *мм*$^2$;
$C$ — емкость конденсатора, *ф*;
$f$ — частота, *гц*.

Число $k$ определяется следующим образом. Допустим, что 100 *в* на одной паре отклоняющих пластин «напряжения» дают отклонение на экране в 1 *мм*. Такое же отклонение дают 50 *в* на второй паре пластин «тока» (отклонение на экране под углом 90°). Тогда каждому квадратному миллиметру площади замкнутой фигуры соответствуют $100 \cdot 50 = 5\,000$ *в*$^2$, т. е. $k = 5\,000$ *в*$^2$/*мм*$^2$.

## ИЗМЕРЕНИЕ И КОНТРОЛЬ МОДУЛЯЦИИ

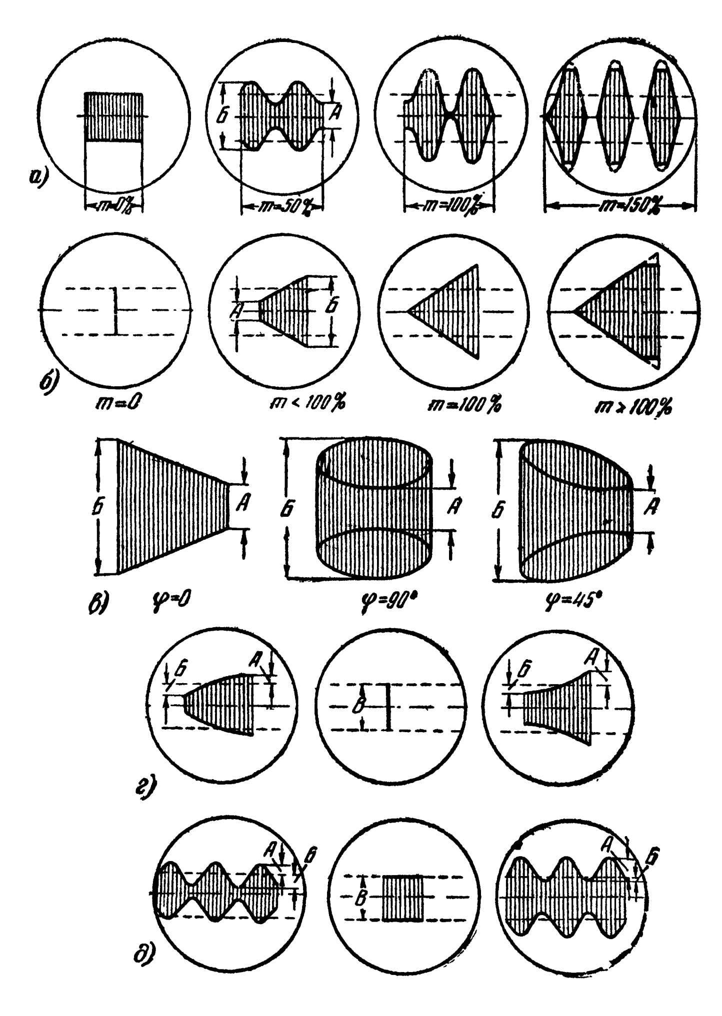
В гл. 2 говорилось о способе измерения модуляции с помощью измерителя модуляции ИМ-8.

При отсутствии такого измерителя определение глубины модуляции можно произвести с помощью антенного амперметра, включенного в антенную цепь или антенный контур, нагруженные на эквивалент антенны. При этом, если ток без модуляции равен $I_1$, а при модуляции $I_2$, глубина модуляции может быть определена по формуле

$$m = \sqrt{2\left(\frac{I_2^2}{I_1^2} - 1\right)} \cdot 100\ \%.$$

Глубина модуляции может быть определена также с помощью электронно-лучевого осциллографа.

Для измерения коэффициента модуляции в этом случае напряжение модулированной несущей частоты подводят к зажимам вертикального отклонения осциллографа. При синхронизации частоты генератора развертки с частотой модуляции на экране будет виден растр, верхняя и нижняя огибающие которого соответствуют частоте модуляции (фиг. 56,*а*). Так как несущая частота по сравнению с частотой модуляции бывает во много раз больше, то вертикальные линии, соответствующие колебаниям высокой частоты, сливаются и дают светящуюся площадь. Вследствие




Фиг. 56. Измерение модуляции с помощью осциллографа

этого при отсутствии модуляции на экране будет видеть правильный прямоугольник.

Огибающая кривая модулированного напряжения дает возможность определить коэффициент модуляции (а также степень искажений при выбранной форме напряжения модуляции)

Коэффициент модуляции определяется из следующего соотношения:

$$m = \frac{Б - А}{Б + А} \cdot 100\%.$$

Хотя этот вид контроля модуляции очень нагляден, однако пользоваться им в течение продолжительного времени трудно, так как при постоянно меняющейся модуляции удержать изображение на месте очень трудно. Поэтому для бегущей фигуры удобнее применять измерение модуляции по методу трапеции. Для этого модулированное высокочастотное напряжение подводится к зажимам вертикального отклонения, а напряжение модуляции — к зажимам горизонтального отклонения. Если сдвига фаз между напряжением огибающей и горизонтально отклоняющим напряжением нет и модуляция не имеет нелинейных искажений, то на экране получается трапецоидальное изображение с прямолинейными сторонами (фиг. 56,*б*).

Большая вертикаль трапеции соответствует максимальной амплитуде высокочастотного колебания, а малая — минимальной амплитуде. Если обозначить малую сторону через *А*, а большую через *Б*, то глубина модуляции выразится указанной выше формулой.

Если огибающая модулированного напряжения и само модулирующее напряжение сдвинуты по фазе, то на экране будут получаться фигуры, показанные на фиг. 56,*в*. Коэффициент модуляции в этом случае также определяется по приведенной выше формуле. При необходимости выравнивание фаз может быть произведено с помощью фазовращающей цепи *RC*.

Положение наклонной огибающей трапеции может до некоторой степени служить показателем качества модуляции. Так, например, из положения наклонной огибающей на фиг. 56,*б* видно, что модуляция высокой частоты осуществляется линейно и искажения отсутствуют. Искажения из-за неправильно выбранной рабочей точки на модуляционной характеристике отчетливо видны по криволинейной огибающей на фиг. 56,*г* и *д*.

Однако прямая огибающая не всегда служит доказательством безупречного качества модуляции, так как искажения, например в модулирующем усилителе, на кривой не будут заметны. Поэтому передатчик наряду с исследованием его с помощью осциллографа должен быть прослушан на приемник.

Иногда осциллограммы очень сильно отличаются от показанных на фиг. 56. Это может быть из-за наличия паразитных напряжений, наведенных в цепь горизонтального отклонения осциллографа, а также при неисправности самого осциллографа.

Если источники питания передатчика не имеют достаточно хороших фильтров и не экранированы, то на высокую частоту будет наложен фон звуковой частоты. Эту модуляцию можно обнаружить, прослушивая работу передатчика на приемнике или просматривая ее на осциллографе.

Для контроля частотно-модулированного генератора можно воспользоваться одним из параметров частотной модуляции — индексом модуляции.

Напомним, что индексом модуляции $m_f$ называется отношение девиации $\Delta f$ несущей частоты (отклонение несущей частоты от ее среднего значения) к частоте модуляции $F$, т. е.

$$m_f = \frac{\Delta f}{F}.$$

Так, если при частоте модуляции, равной $F = 5$ *кгц*, модулятор вызывает изменение несущей частоты генератора от $f_0 = 30000$ *кгц* до $f_1 = 30030$ *кгц*, то индекс модуляции

$$m_f = \frac{\Delta f}{F} = \frac{f_1 - f_0}{F} = \frac{30\,030 - 30\,000}{5} = 6.$$

Обычно для радиотелефонных передатчиков индекс модуляции лежит в пределах 1 — 5.

Итак, изменение частоты, вызываемое модулятором, может быть определено через индекс модуляции, который в свою очередь может быть найден из того условия, что при синусоидальной модуляции амплитуда несущей частоты при некоторых определенных значениях индекса модуляции (табл. 7) уменьшается до нуля.

*Таблица 7*

| Порядковый номер нуля амплитуды несущей частоты | Значение индекса модуляции |
|---|---|
| 1 | 2,4 |
| 2 | 5,52 |
| 3 | 8,65 |
| 4 | 11,79 |
| 5 | 14,93 |
| 6 | 18,07 |
| $n$ ($n > 6$) | $18{,}07 + \pi(n-6)$ |

Для определения девиации частоты необходимо иметь высокоизбирательный приемник, настроенный на несущую частоту генератора.

При работе нужно медленно изменять частоту модуляции от нуля в сторону более высоких частот, пока звук на выходе приемника не исчезнет. Первый раз это произойдет, когда девиация частоты $\Delta f$ генератора или передатчика будет равна частоте модуляции $F$, умноженной на 2,4, т. е. $\Delta f = 2{,}4F$, а частота колебаний передатчика будет изменяться в пределах $f_0 \pm \Delta f = \pm 2{,}4F$.

Если изменение частоты модуляции производить и далее, то звук в приемнике появится опять и снова исчезнет, когда девиация будет равна $5{,}52F$, и т. д. Таким образом, задаваясь частотой модуляции и определив порядковый номер нулевой амплитуды несущей частоты, можно определить величину девиации.

Если в передатчике с каскадами умножения частоты измерение производится не на выходе передатчика, а в предварительных каскадах, то для получения величины полного отклонения частоты передатчика от средней несущей частоты результат измерения следует умножить на коэффициент умножения частоты.

---

***ПРИЛОЖЕНИЕ***

## ОСНОВНЫЕ ДАННЫЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ

| Наименование прибора | Тип | Диапазон измеряемых величин | Погрешности градуировки | Размеры, *мм* | Вес, *кг* |
|---|---|---|---|---|---|
| Магазин сопротивлений . . . . . . | МСР-47 | 1,0 *ом* ÷ 10 *ком* | ± 0,1% + 0,01 *ом* | 175 × 280 × 390 | — |
| Магазин сопротивлений высокоомный | МСВ-47 | 100 *ком* ÷ 1 *мгом* | ± 0,1% | 173 × 280 × 390 | 7,3 |
| Магазин сопротивлений . . . . . . | МСВ-49 | 10 ÷ 100 *ком* | ± 0,1% | 390 × 175 × 280 | 7,6 |
| Штепсельный магазин сопротивлений | Р-14 | 0,1 ÷ 11 111 *ом* или 1 ÷ 111 110 *ом* | ±(0,1%+0,015 *ом*) | 280 × 180 × 120 | 5 |
| Магазин сопротивлений . . . . . . | КМС-6 | 0,1 ÷ 99 999,9 *ом* | 0,2 ÷ 1,5% | 260 × 150 × 135 | 3 |
| Магазин емкостей . . . . . . . . . | МЕ-3 | 0,001 ÷ 1,111 *мкф* | ± (0,5 ÷ 1)% | 462 × 232 × 145 | 12 |
| Магазин емкостей . . . . . . . . . | МЕ-4 | 2 × 1 *мкф* | ± 0,5% | 462 × 232 × 145 | — |
| Магазин индуктивностей . . . . . . | МИ | 0,05 ÷ 111,1 *мгн* | 0,5 ÷ 1% | 265 × 350 × 530 | 15 |
| Магазин сопротивлений переменного тока (до 5 *кгц*) . . . . . . . . . | МСШБ-0,1 (Р-58) | 0,1 ÷ 111 111 *ом* | ± 0,1 | — | — |
| Магазин сопротивлений переменного тока (до 50 *кгц*) . . . . . . . . | МС-2 | 1 ÷ 11 110 *ом* | 0,5 ÷ 1% | 423 × 153 × 145 | — |
| Мегомметр . . . . . . . . . . . . | МОМ-1 | 20 *ом* ÷ 10 000 *мгом* | ± 10% | 355 × 245 × 210 | 9 |
| Звуковой генератор . . . . . . . . | ЗГ-2А | 20 ÷ 20 000 *гц* | ± 2% ± 2 *гц* | 510 × 625 × 290 | 50 |
| Звуковой генератор . . . . . . . . | ЗГ-10 | 20 — 20 000 *гц* | ± 2% ± 1 *гц* | 598 × 357 × 293 | 35 |

Продолжение

| Наименование прибора | Тип | Диапазон измеряемых величин | Погрешности градуировки | Размеры, *мм* | Вес, *кг* |
|---|---|---|---|---|---|
| Звуковой генератор . . . . . . . . . | ГЗ-1 | 18 ÷ 18 000 *гц* | ± 5% | 210 × 360 × 300 | 15 |
| Генератор стандартных сигналов . . | ГСС-6 | 100 *кгц* ÷ 25 *мгц*<br>0,1 *мкв* ÷ 1 *в* | ± 1%<br>3 ÷ 25% | 190 × 335 × 230 | 25 |
| Генератор стандартных сигналов . . | СГ-1 | 13 ÷ 330 *мгц*<br>4 *мкв* ÷ 20 *мв* | ± 2%<br>± 25 + 40% | 488 × 272 × 200 | — |
| Измеритель частоты . . . . . . . . . | ИЧ-5 | 30 ÷ 100 000 *гц* | ± 2% | 360 × 250 × 235 | 15,5 |
| Волномер-гетеродин (батарейный) . . | 526 | 125 *кгц* ÷ 20 *мгц* | 50 ÷ 400 *гц* | 360 × 280 × 60 | 17 |
| Волномер-гетеродин (сетевой) . . . . | 527 | 125 *кгц* ÷ 20 *мгц* | 50 ÷ 400 *гц* | 250 × 280 × 260 | 22 |
| Волномер-гетеродин (сетевой) . . . . | 528 | 125 *кгц* ÷ 20 *мгц* | 50 ÷ 400 *гц* | 250 × 280 × 260 | 22 |
| Кварцевый калибратор . . . . . . . . | КК-6 | 125 *кгц* ÷ 20 *мгц* | ± 0,01% | 160 × 100 × 70 | 1,2 |
| Катодный вольтметр (30 *гц* ÷ 100 *мггц*) | ВКС-7Б | 0,1 ÷ 150 *в* | ± 3% | 320 × 290 × 190 | 3 |
| Ламповый вольтметр (30 *гц* ÷ 200 *мггц*) | ЛВ9-2 | 3 *мв* ÷ 300 *в* | ± 2,5% | 330 × 220 × 215 | — |
| Импульсный вольтметр (до 10 *мггц*) | ВЛИ-2 | 0 ÷ 300 *в* | ± 3% | — | — |
| Измеритель выхода (до 5 *кгц*) . . . | ИВ-4 | 0,5 ÷ 300 *в* | ± 5% | 160 × 100 × 70 | 1,2 |
| Низкочастотный измеритель емкостей | НИЕ-1 | 10 *пф* ÷ 100 *мкф* | 5 ÷ 10% | 300 × 240 × 200 | 10 |
| Универсальный мост . . . . . . . . . | УМ-2 | 10 *мкгн* ÷ 100 *гн*<br>10 *пф* ÷ 100 *мкф*<br>0,1 *ом* ÷ 1 *мгом*<br>Q 0,5 ÷ 80 | 1 ÷ 5%<br>1 ÷ 3%<br>1 ÷ 5%<br>± 30% | 485 × 326 × 275 | 30 |

Продолжение

| Наименование прибора | Тип | Диапазон измеряемых величин | Погрешности градуировки | Размеры, *мм* | Вес, *кг* |
|---|---|---|---|---|---|
| Мост для измерения сопротивлений | ШМВ | 1 *ом* ÷ 1 *мгом* | 0,2 ÷ 0,5% | 340 × 235 × 140 | 6,5 |
| Мост для измерения сопротивлений | МВЛ-47 | 1 *ом* ÷ 1 *мгом* | 0,05% | 175 + 280 × 390 | 9,6 |
| Мост для измерения сопротивлений | ММВ | 0,05 *ом* ÷ 50 *ком* | 5 ÷ 15% | 200 × 110 × 65 | 1,1 |
| Мост для измерения сопротивлений | УМВ | 1 *ом* ÷ 100 *ком* | ± 0,5% | 270 × 230 × 160 | — |
| Мост для измерения сопротивлений | МТВ | $1 \cdot 10^{-6} \div 1 \cdot 10^{6}$ *ом* | ± 0,05 | 500 × 350 × 250 | 20 |
| Измеритель добротности (50 *кгц* ÷ ÷ 40 *мггц*) . . . . . . . . . . . . | КВ-1 | 25 ÷ 625 | ± 5 ÷ ± 10% | 505 × 290 × 220 | 14 |
| Измеритель добротности (30 ÷ 200 *мггц*) . . . . . . . . . . . . . | УК-1 | 80 ÷ 1 200 | ± 10% | 505 × 235 × 225 | 10 |
| Измеритель нелинейных искажений (60 *гц* ÷ 15 *кгц*) . . . . . . . . . | ИНИ-10 | 0,3 ÷ 45% | ± (7,5 ÷ 15)% | 598 × 357 × 293 | 30 |
| Измеритель глубины модуляции (150 *кгц* ÷ 30 *мггц*) . . . . . . . | ИМ-8 | 0 ÷ 100% | ± 10% | 205 × 142 × 75 | 2,5 |
| Измеритель помех . . . . . . . . . | ИП-12М | 1 *мкв* ÷ 100 *мв* 160 *кгц* ÷ 20 *мгц* | ± 5% | 205 × 325 × 435 | 14 |
| Шумомер (60 *гц* ÷ 8 *кгц*) . . . . . . | Ш-52 | 36 ÷ 130 *дб* | — | 365 × 264 × 214 | 16,6 |
| Анализатор напряжений . . . . . . | АН-1 | 100 *гц* ÷ 20 *кгц* 100 *мкв* ÷ 100 *в* | ± (3% + 20 *гц*) ± 5% | | |

СОДЕРЖАНИЕ

2 р. 80 к.